

# MENTE y CEREBRO

# Cuadernos

N.º 4 - 2013  
6,90 €



investigacionyciencia.es

## LAS NEURONAS

Fisiología y biología de los cimientos  
del sistema nervioso



### SINAPSIS

La comunicación  
de las células  
nerviosas

### NEUROGÉNESIS

Formación  
de neuronas  
en la adultez

### EMPATÍA

El secreto de  
las neuronas  
espejo

### FARMACOTERAPIA

¿Es posible  
reparar  
el cerebro?



0.000.04  
9 772253 1959008

Cuadernos MENTE y CEREBRO

1<sup>er</sup> CUATRIMESTRE 2013

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

## MENTE Y CEREBRO



Disponible en su quiosco el número de febrero



Suscríbese a la versión **DIGITAL** de todas nuestras publicaciones y acceda al contenido completo de todos los números (en pdf)\*

[www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es)

\* Ejemplares de IyC disponibles desde 1996 y el archivo completo de MyC, TEMAS y CUADERNOS

## COLABORADORES DE ESTE NÚMERO

### ASESORAMIENTO Y TRADUCCIÓN:

FRANCESC ASENSI: *El lenguaje de las neuronas, Inteligencia y mielina, Mecanismo fino de la memoria*; IGNACIO NAVASCUÉS: *Las sinapsis al detalle, Sincronización neuronal*; LUIS BOU: *Nódulos de Ranvier*; ÁLEX SANTATALA: *El aprendizaje transforma el cerebro, Neuronas para calcular*; I. NADAL: *Neuronas especulares*; PILAR GARCÍA-VILLALBA: *Formación y consolidación de los recuerdos*; ÁNGEL GONZÁLEZ DE PABLO: *Neurogénesis, Contra el freno del crecimiento neuronal*

Portada: Cortesía de Paul De Koninck / Laval University; www.greenspine.ca

## MENTE Y CEREBRO

DIRECTORA GENERAL Pilar Bronchal Garfella  
DIRECTORA EDITORIAL Laia Torres Casas  
EDICIONES Yvonne Buchholz, Anna Ferran Cabeza,  
Ernesto Lozano Tellechea, Carlo Ferri  
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau  
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez  
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia  
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

## EDITA

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

## GEHIRN UND GEIST

CHEFREDAKTEUR: Carsten Könneker (verantwortlich)  
ARTDIREKTOR: Karsten Kramarczik  
REDACTIONSLEITER: Steve Ayan  
REDAKTION: Katja Gaschler, Christiane Gelitz,  
Andreas Jahn (Online-Koordinator), Frank Schubert, Claudia Wolf  
FREIE MITARBEIT: Christoph Böhmert, Joachim Marschall  
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg, Sigrid Spies, Katharina Werle  
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann, Anke Lingg, Gabriela Rabe  
REDAKTIONSASSISTENZ: Inga Merk  
VERLAGSLEITER: Richard Zinken  
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle, Thomas Bleck

## DISTRIBUCIÓN

### para España:

LOGISTA, S. A.

Pol. Ind. Pinares Llanos - Electricistas, 3  
28670 Villaviciosa de Odón (Madrid) - Teléfono 916 657 158

### para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.ª - 08021 Barcelona - Tel. 934 143 344

## PUBLICIDAD

Aptitud Comercial y Comunicación S. L.  
Ortigosa, 14 - 08003 Barcelona  
Tel. 934 143 344 - Móvil 653 340 243  
publicidad@investigacionyciencia.es

Copyright © 2013 Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, D-69126 Heidelberg

Copyright © 2013 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

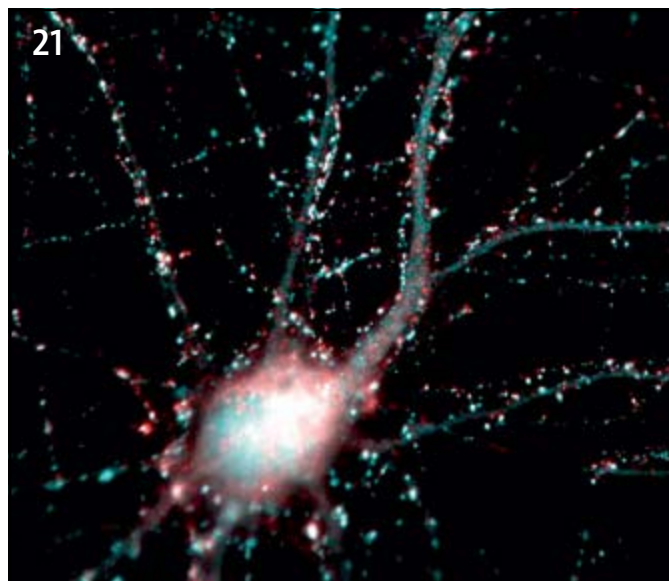
Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista.

ISSN 2253-959X Dep. legal: B. 3021 – 2012

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica)  
Ctra. N-II, km 600 - 08620 Sant Vicenç dels Horts (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

## SUMARIO



## BIOLOGÍA

### 4 El lenguaje de las neuronas

¿Cómo consiguen las neuronas transformar en impulsos eléctricos los estímulos que les llegan desde el exterior? Poco a poco vamos descifrando el lenguaje críptico del cerebro. *Por M. Bethge y K. Pawelzik*

### 12 Comunicación neuronal

El concepto de comunicación neuronal ha marcado una era de investigación científica. Ello ha llevado a establecer que la función cerebral se basa en la correcta labor de esta maquinaria. *Por Juan Lerma*

### 21 Las sinapsis al detalle

Alrededor de 100.000 millones de neuronas en el cerebro humano se comunican entre sí gracias a unos 100 billones de interconexiones. La biología celular revela cómo sucede dicha comunicación y qué ocurre si se altera. *Por N. Brose y L. Kolb*

### 26 Sincronización neuronal

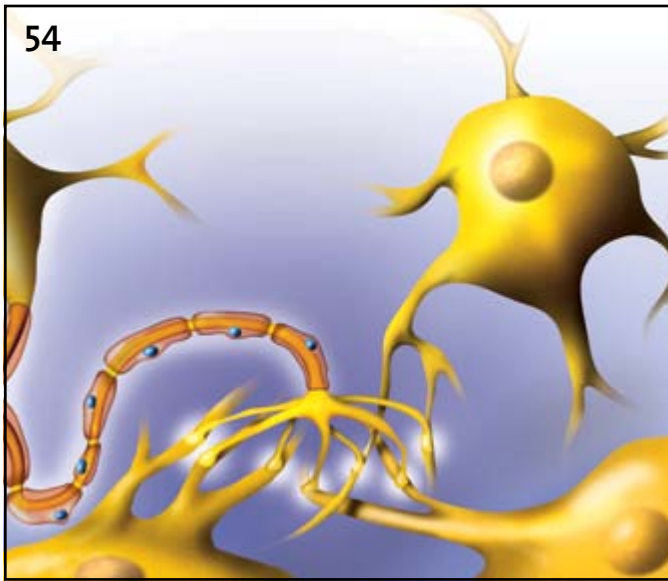
Las neuronas «descargan» de manera conjunta y con una secuencia rápida con el fin de atraer la atención de la consciencia. *Por A. K. Engel, S. Debener y C. Kranczioch*

### 33 Nódulos de Ranvier

La vaina de mielina que envuelve las prolongaciones neuronales presenta a intervalos regulares un estrangulamiento, el nódulo de Ranvier. Empezamos a conocer su estructura celular y organización molecular. *Por Jean-Antoine Girault*

### 40 El aprendizaje transforma el cerebro

Al aprender, nuestro encéfalo cambia. El alcance de las modificaciones afecta no solo a la materia gris, sino también a la sustancia blanca. *Por J. Scholz y M. Klein*



## FUNCIONES

### 46 Neuronas para calcular

La palabra «matemáticas» provoca incomodidad y ganas de huir en algunas personas. Quizá si supieran que poseen un sentido innato para los números cambiarían de actitud. *Por Andreas Nieder*

### 51 Neuronas especulares

Lo hagamos nosotros o veamos a otros hacerlo, se activan en nuestro cerebro determinadas neuronas. ¿Les debemos a esas células el don de podernos compenetrar con otros humanos? *Por Steve Ayan*

### 54 Inteligencia y mielina

¿Por qué unos son más inteligentes que otros? Todo indica que ciertas cualidades especiales de las neuronas cerebrales desempeñan un papel fundamental. *Por Aljoscha C. Neubauer*

### 58 Memoria cartográfica

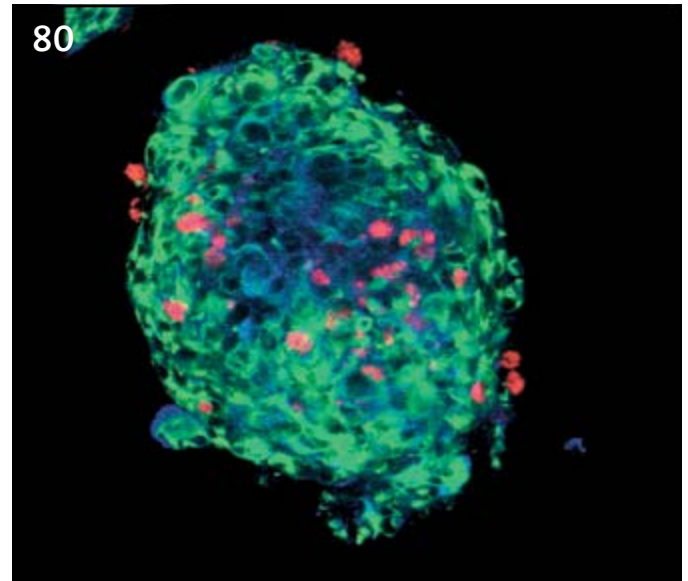
El descubrimiento de ciertas neuronas localizadoras, llamadas células reticulares, ha renovado la neurociencia. *Por James A. Knierim*

### 61 Una ventana a la cognición

*Por A. David Redish*

### 63 Formación y consolidación de los recuerdos

Los recuerdos se graban en la memoria bajo la forma de combinaciones específicas de modificaciones de las sinapsis. En ello interviene toda la maquinaria molecular de las neuronas. *Por Serge Laroche*



## NEUROGÉNESIS Y NEURODEGENERACIÓN

### 70 Mecanismo fino de la memoria

La conexión entre neuronas a través de las sinapsis constituye la base del aprendizaje y de la memoria. ¿Cómo regulan unas proteínas especiales este proceso molecular? *Por C. Essmann y A. Acker-Palmer*

### 74 Excitotoxicidad y muerte de las neuronas

El estudio de los mecanismos moleculares del daño celular y de los procesos fisiológicos implicados en la neuroprotección habrá de permitir el tratamiento de las agresiones excitotóxicas. *Por Silvia Ortega Gutiérrez*

### 80 Neurogénesis

Durante mucho tiempo se consideró un apotegma de la neurología: en los cerebros adultos no se generan nuevas neuronas. Un error. No dejan de hacerlo a lo largo de toda la vida. *Por Gerd Kempermann*

### 84 Contra el freno del crecimiento neuronal

Las lesiones de la médula espinal ocasionan con frecuencia paraplejía. Se investiga el modo de contrarrestar la incapacidad regeneradora del sistema nervioso central. *Por A. Buchli y M. Schwab*

### 90 ¿Es posible la reparación del cerebro?

El descubrimiento de progenitores neurales en el sistema nervioso central de mamíferos adultos ha abierto una vía de investigación en las terapias para los trastornos neurodegenerativos. *Por E. Mancheño Maciá y M. Giménez y Ribotta*

# El lenguaje de las neuronas

¿Cómo consiguen las neuronas transformar en impulsos eléctricos los estímulos que les llegan desde el exterior? Poco a poco vamos descifrando el lenguaje críptico del cerebro

MATTHIAS BETHGE Y KLAUS PAWELZIK

## EN SÍNTESIS

### Código encriptado

**1** A finales del siglo XIX se describió a las neuronas como componentes elementales del cerebro. No obstante, sigue sin saberse cómo los procesos biofísicos cerebrales se tornan en fenómenos psicológicos.

**2** Según descubrieron los premio nobel Hubel y Wiesel mediante su estudio en gatos del sistema visual, ciertas neuronas se activan a tenor de sus preferencias; también actúan en grupo.

**3** Aunque resta descifrar el código de comunicación neuronal, se conoce que, vía axón, las células nerviosas transmiten impulsos eléctricos o potenciales de acción.

**E**l cielo del crepúsculo, el canto de un pájaro o el aroma de una rosa nos parecen tan evidentes, que no solemos preguntarnos si tales percepciones se corresponden con la realidad. En sentido estricto, los sonidos, los colores, los sabores o los aromas se generan en nuestro cerebro. Los estímulos físicos procedentes del entorno —roces en nuestra piel, ondas sonoras, ondas electromagnéticas o moléculas aromáticas— llegan a nuestros órganos de los sentidos y a los receptores sensoriales distribuidos por el cuerpo. Se traducen en señales nerviosas. A ese proceso traductor se le denomina *codificación*.

En efecto, el flujo de ondas electromagnéticas lo convierte nuestro cerebro en la percepción de una flor azul. Pero lo que percibimos como una flor encierra bastante más información de la que sabemos distinguir. Carecemos de los receptores apropiados para captar muchos estímulos físicos. Además, en la codificación no se procesan todos los detalles, cuando no se pierden en el proceso de transmisión. No obstante todo ello, a partir de las informaciones que en condiciones normales le llegan, el cerebro consigue construir una imagen útil del mundo que nos rodea. Y él mismo genera señales que, por regla general, tienen como resultado una conducta adecuada.

A finales del siglo XIX se estableció que los componentes elementales del cerebro eran las neuronas. Sigue, sin embargo, abierta la cuestión en torno al mecanismo en cuya virtud se generan, a partir de procesos biofísicos cerebrales, los fenómenos psicológicos que conlleva el acto de la percepción. ¿Qué procesos son esenciales en cada neurona y cuáles irrelevantes? ¿A qué da lugar la actividad conjunta de grupos restringidos de

neuronas y qué es lo que origina el estímulo de áreas enteras del cerebro? En otras palabras, ¿qué idioma habla el cerebro?

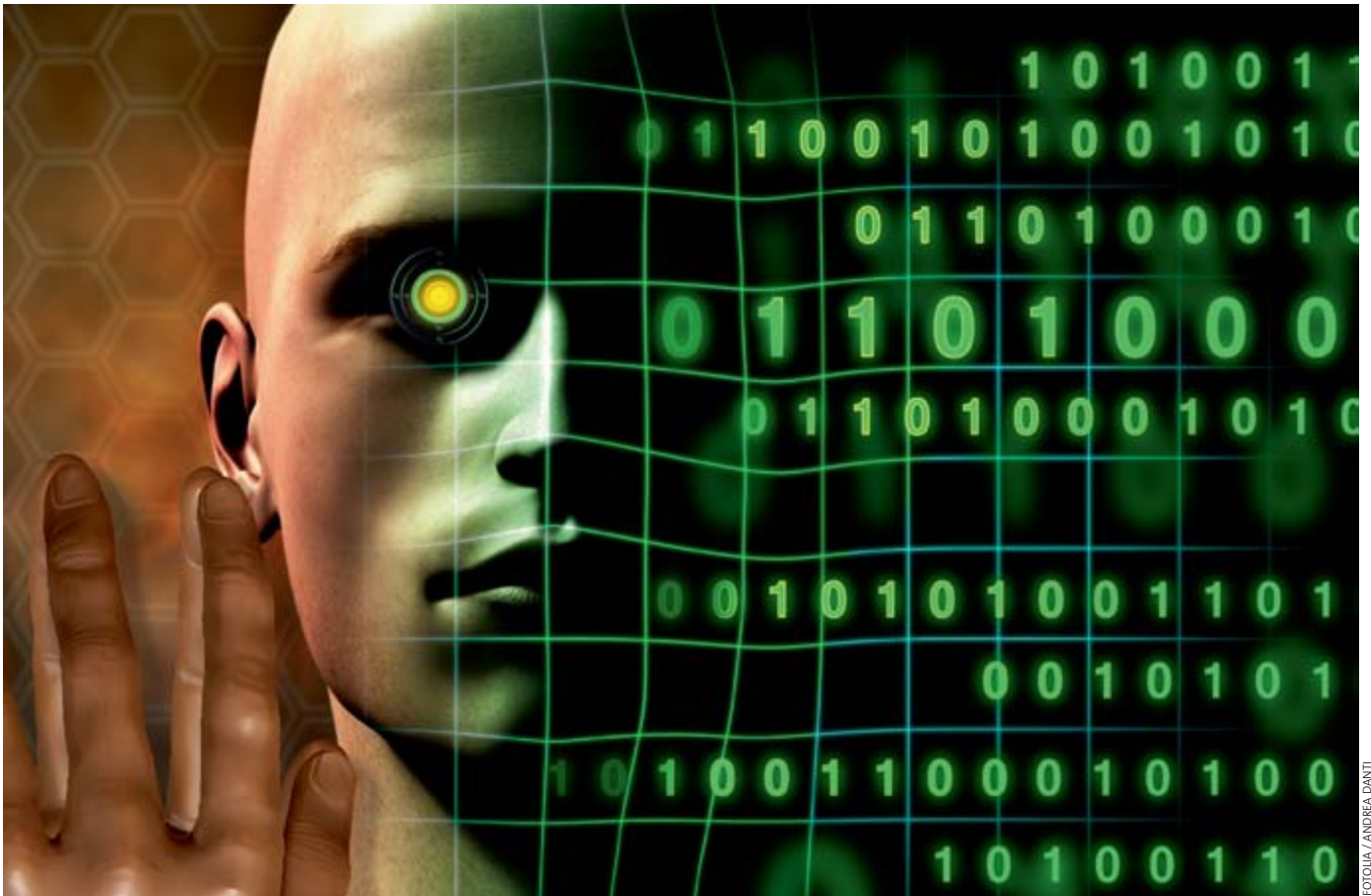
Un procedimiento típico en este ámbito de la ciencia consiste en estimular sensorialmente un animal y medir la «respuesta» observada en una determinada célula nerviosa. Pero las neuronas se hallan en permanente actividad, incluso en ausencia de estímulos exteriores; por ejemplo, durante el sueño. Este tráfico interno de señales transforma sin cesar el estado en que se encuentra el cerebro. Por consiguiente, las mismas señales aferentes en momentos diferentes nunca inciden sobre el mismo sistema. El estado de vigilia, la atención y las experiencias anteriores modifican la conducta de las neuronas. En breve, los fenómenos neuronales observados en respuesta a un estímulo pueden ser similares o completamente diferentes de un momento a otro.

Para reducir al mínimo la influencia de todos esos factores, los neurólogos concentran su atención en áreas cerebrales cuya actividad se corresponda lo más directamente posible con los estímulos aplicados en los experimentos; se pretende que el sistema nervioso no sufra alteraciones durante su curso.

Una neurona recibe señales aferentes procedentes del sistema radicular de sus dendritas. Luego, el soma celular las integra y las transmite, constituidas en señal eferente, al axón; llegan a este a través de la protuberancia axonal (saliente del que parte el axón). En su extremo, el axón se ramifica y establece, a su vez, conexión con otras neuronas.

### El olor excitante de la rosa

La transmisión de la señal en el interior de la neurona procede mediante la propagación de cambios



FOTOLIA / ANDREA DANTI

de potencial a lo largo de la membrana celular, dotada de carga eléctrica. Si una señal eléctrica supera un determinado valor en la protuberancia axonal la membrana reacciona desencadenando un *potencial de acción*. Por tal se entiende un impulso que atraviesa el axón; en una corta fracción de segundo, cambia el potencial de membrana de manera característica.

El problema fundamental para descifrar el código neuronal estriba en que las propiedades físicas de los potenciales de acción no indican qué tipo de estímulos los han desencadenado. Da igual que escuchemos nuestra pieza preferida, nos deleite el aroma de una rosa, miremos la televisión o acariciemos un gato, todos los potenciales de acción que ante estos estímulos desencadenan las neuronas tienen las mismas características. A la manera en que las palabras de un idioma se forman con un solo alfabeto, el lenguaje de las neuronas tiene en el potencial de acción o la espiga (debido a su forma) su elemento básico. Las espigas adquieren siempre la misma forma, pero en la corteza cerebral esta presentación es capaz de combinar los estímulos más dispares; por ejemplo, auditivos y visuales. En ello se funda

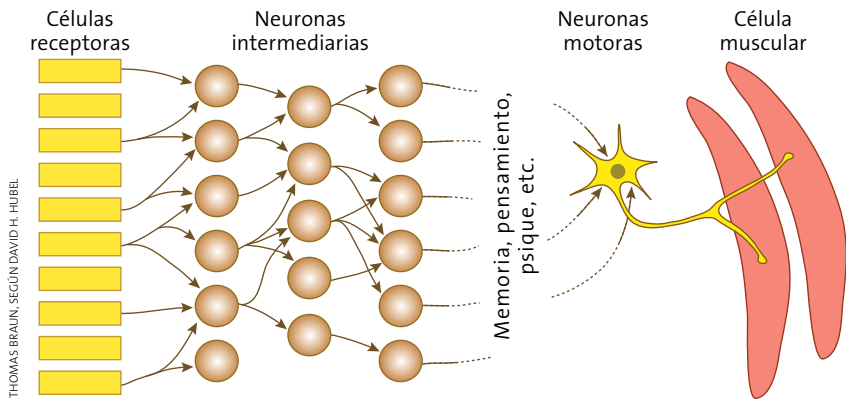
la sospecha de que el soporte de percepciones y pensamientos, incluso los más abstractos, reside en el potencial de acción cuyas combinaciones conforman el código neuronal.

¿Cómo «sabe» una neurona que la información que le llega es un aroma y no un sonido? La modalidad de estímulo viene codificada por la vía nerviosa que va desde el receptor sensorial hasta la neurona en cuestión, posiblemente pasando por diversas estaciones intermedias. Pero una neurona puede «saber» más. David Hubel y Torsten Wiesel, de la facultad de medicina de Harvard, comprobaron hace más de cuarenta años que determinadas neuronas de la corteza visual primaria respondían muy bien a rayos luminosos con una orientación determinada, rayos que incidían en un área circunscrita del campo visual, el denominado campo receptor, y seguían cierta dirección.

En el marco de estos ensayos midieron el *cociente de respuesta* de las neuronas corticales ante estímulos experimentales. Partían del supuesto de que la información esencial radica en el número de potenciales de acción por unidad de tiempo. El cociente se calcula contando el número de potenciales de acción a lo largo de un intervalo de

#### EL GRAN ENIGMA

El ser humano reconoce su imagen en el espejo. ¿Podrá descifrar algún día el código con el que su cerebro procesa esta imagen?



**REACCIÓN EN CADENA**

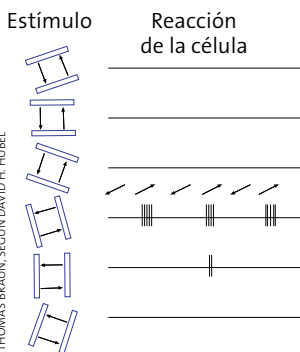
En el inicio de las vías nerviosas están las células sensoriales; así, las del ojo o el oído. Estas células nerviosas especializadas transforman la información que les llega desde el exterior —la luz o las ondas sonoras— en impulsos nerviosos eléctricos. Luego, la información se transmite, de forma escalonada, de un grupo de neuronas a otro.

tiempo suficientemente prolongado y dividiendo por la duración de dicho intervalo.

A Hubel y Wiesel debemos otro hallazgo interesante: las neuronas que responden a posiciones y orientaciones similares ocupan lugares próximos en la corteza cerebral. Por tanto, las posiciones y las orientaciones de los estímulos visuales pueden dibujarse en la superficie de la corteza cerebral, cartografiarse. Las neuronas situadas en una misma columna perpendicular a la superficie corporal (columnas corticales), reaccionan ante estímulos similares. Por este descubrimiento Hubel y Wiesel recibieron el premio Nobel en 1981.

Podría levantarse un mapa similar en la corteza motora que planifica y dirige los movimientos del cuerpo. Es la «parte emisora» del cerebro. También allí, las actividades neuronales vecinas estimulan grupos musculares próximos. Si se mide la actividad de las neuronas de estas áreas motoras, se comprueba que el número de potenciales de acción por unidad de tiempo se corresponde con diversos parámetros motores. En otras palabras: el ritmo de excitación de estas neuronas codifica los movimientos.

Para que la medida del cociente de respuesta resulte operativa, hemos de considerar una ventana temporal de un segundo al menos; de lo contrario, el valor vendría sesgado por la elección arbitraria de la duración de dicho intervalo. La razón de ello estriba en que la mayoría de las veces las neuronas no se excitan con un ritmo regular. Es lógico pensar, pues, que la información no solo esté contenida en el número de espigas, sino también en el *modelo* que sigue su distribución a lo largo del tiempo. Para objetivar esta distribución, el intervalo de estudio se divide en numerosos subintervalos, muy cortos; tras múltiples repeticiones, se calcula la cuantía media de



**NEURONA CON PREFERENCIAS**

La expresión nos remite, aquí, a las respuestas de una célula con orientación específica en la corteza visual primaria de un gato. Estas respuestas fueron medidas por D. Hubel y T. Wiesel en 1958. La célula emite impulsos casi exclusivamente ante un foco de luz en posición de las once horas que se mueva de abajo arriba.

espigas por intervalo. Como resultado se obtiene el histograma periestimular temporal (PSTH, en su sigla inglesa).

Si esta detallada representación ofreciera mayor información que el número escueto de potenciales de acción por unidad de tiempo, dispondríamos de un método para obtener datos más exactos sobre los estímulos desencadenantes. En 1987, Lance Optican y Barry Richmond, del Instituto Nacional de la Salud en Bethesda, confirmaron la hipótesis. Mostraron a un gato diversos modelos ajedrezados. Basándose en el PSTH de una neurona de la corteza visual del felino, identificaron el estímulo visual presentado, lo que hubiera sido punto menos que imposible de haberse fundado exclusivamente en el número total de espigas.

**La imagen de la estación de telégrafos**

Hay diversas características de las actividades neuronales que pueden encerrar información sobre un estímulo. El problema está en distinguir las características esenciales. ¿Proporciona el momento en que aparecen las espigas más información que su puro número? Importa, además, saber entre cuántos componentes del estímulo puede discriminar una neurona.

En la teoría de la información propuesta en 1948 por Claude Shannon encontramos ideas valiosas para abordar ese tipo de cuestiones. La teoría de Shannon descansa sobre tres pivotes: emisor, receptor y canal de información entre ambos. Para su interacción se acude a la imagen de una línea telegráfica. A través del canal, el emisor envía secuencias de señales (la noticia) tomadas de una reserva preexistente (el «alfabeto»).

Previamente, emisor y receptor se han puesto de acuerdo sobre el significado de las señales. La llegada de la información coloca al receptor en condiciones de poder elegir una sola entre una serie de posibilidades. Cuanto mayor sea el número de posibilidades distinguibles, mayor será la información incluida en la noticia.

Un observador esporádico que solo perciba la secuencia de las señales, no aprehenderá el significado de la noticia, pero sí podría advertir cuánta información es capaz de contener la noticia. La magnitud de la información, que puede calcularse por métodos matemáticos, depende exclusivamente de la frecuencia relativa con que se presentan las señales.