

EL TRANSITO DE VENUS • LOS PRIMEROS NANOCHIPS

INVESTIGACION *y* CIENCIA

JUNIO 2004
5,50 EURO

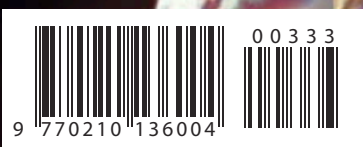
Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

CELULAS DE LA GLIA

**LA CONSTANTE DE HUBBLE
Y EL UNIVERSO EN EXPANSION**

**ALBERTO MAGNO,
EL GRAN CURIOSO**

**LA EVOLUCION CODIFICADA
NANOTUBOS DE CARBONO**



3

HACE...

50, 100 y 150 años.

4

APUNTES

Comportamiento...
Neurología...
Arqueología...
Medio ambiente...
Historia de la ciencia...
Física.

30

CIENCIA Y SOCIEDAD

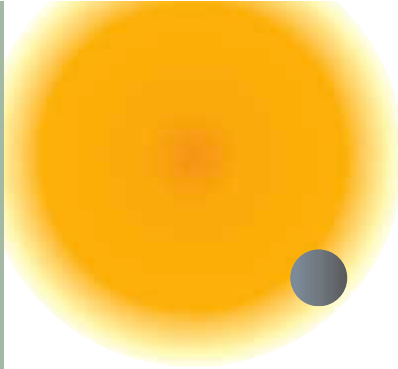
Cambio climático
y distribución geográfica
de las especies... Microelectrónica...
La falla activa de Padul...
Los pájaros de las dehesas.



36

DE CERCA

Ritmo trepidante de la sucesión
ecológica en el mar del Norte.



16

El tránsito de Venus

Steven J. Dick

Este mes de junio, cuando Venus cruce ante el disco solar, recordaremos uno de los grandes capítulos de la historia de la astronomía.

24

La elección más justa

Partha Dasgupta y Eric Maskin

Todos los sistemas electorales tienen inconvenientes. Pero al tomar en consideración la forma en que el cuerpo electoral ordena a los candidatos, hay un sistema que refleja mejor que los demás las intenciones del electorado.

38



La constante de Hubble y el universo en expansión

Wendy Freedman

El valor de H_0 , la velocidad de expansión del universo, podría, merced a su refinamiento reciente, allanar el camino de la investigación cosmológica.

46

El shock y sus causas

Donald W. Landry y Juan A. Oliver

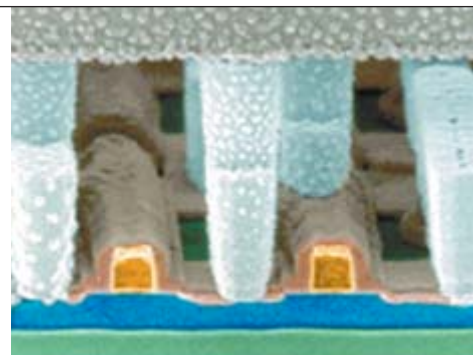
La investigación abre nuevas vías para el tratamiento de este descenso de la presión arterial que a menudo resulta letal.

52

Los primeros nanochips

G. Dan Hutcheson

El constante avance técnico hacia la miniaturización se interna ya en el orden de los nanómetros.



6

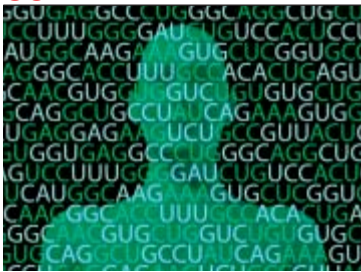
Células de la glía

R. Douglas Fields

Tras medio siglo en un segundo plano, la investigación demuestra que las células de la glía intervienen en las sinapsis y desempeñan un papel clave en el aprendizaje y la memoria.



60



La evolución codificada

Stephen J. Freeland y Laurence D. Hurst

Nuevos descubrimientos concernientes a las reglas que gobiernan la codificación génica de las proteínas han revelado cuán excelente es la "programación" de la naturaleza.

68

Alberto Magno, el gran curioso

Birgit Steib y Roland Popp

En los escritos de este naturalista medieval, que abarcaba el saber de su tiempo, emerge una ciencia orientada hacia la experiencia.

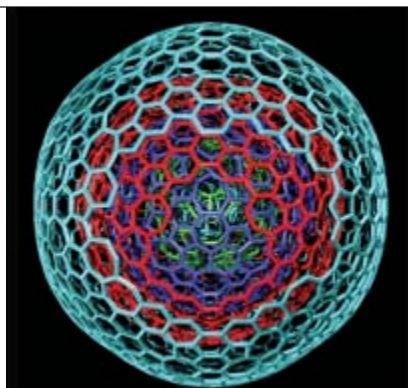


76

Nanotubos de carbono

Mauricio Terrones y Humberto Terrones

La versatilidad del carbono le ha permitido adoptar nuevas estructuras nanométricas con propiedades que abren un horizonte inmenso de aplicaciones.



84

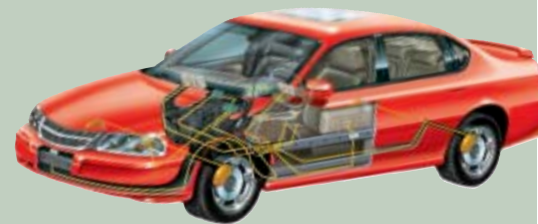
JUEGOS MATEMÁTICOS

La paradoja del autostopista, por Juan M.R. Parrondo

86

IDEAS APLICADAS

Cajas negras en los automóviles, por Mark Fischetti



88

CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

Pequeñas cometas, por Wolfgang Bürger



91

LIBROS

Socialización de la ciencia, Epoca medieval.



96

AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

Faroltesta, por Dennis E. Shasha

INVESTIGACION CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
Laia Torres Casas

PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero

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

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
NEWS EDITOR Philip M. Yam
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix
SENIOR EDITOR Michelle Press
SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,
Graham P. Collins, Steve Mirsky,
George Musser y Christine Soares
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt
GENERAL MANAGER Michael Florek
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL
Dean Sanderson
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER
Gretchen G. Teichgraber
CHAIRMAN John Sargent

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

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

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona
Teléfono 934 143 344

PUBLICIDAD

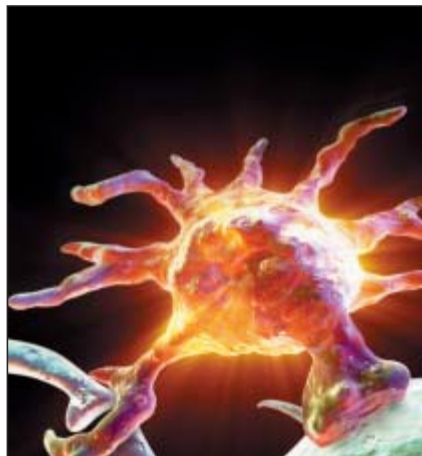
GM Publicidad
Edificio Eurobuilding
Juan Ramón Jiménez, 8, 1.^a planta
28036 Madrid
Tel. 912 776 400
Fax 914 097 046

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

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Felipe Cortés: *Células de la glía*; Luis Bou: *El tránsito de Venus, La elección más justa, La evolución codificada y Aventuras problemáticas*; Ramón Pascual: *La constante de Hubble y el universo en expansión*; Esteban Santiago: *El shock y sus causas*; Antonio Prevosti Monclús: *Alberto Magno, el gran curioso*; J. Vilardell: *Hace... Apuntes e Ideas aplicadas*; Jürgen Goicoechea: *Curiosidades de la física*



Portada: Jeff Johnson, *Hybrid Medical Animation*

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	60,00 euro	110,00 euro
Extranjero	85,00 euro	160,00 euro

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 5,50 euro
Extraordinario: 6,00 euro

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

Difusión controlada

Copyright © 2004 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2004 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X

Dep. legal: B. 38.999 – 76

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

Printed in Spain - Impreso en España

...cincuenta años

MIEDO A LA VACUNA. «Tras varias semanas de confusión acerca de la peligrosidad de la nueva vacuna contra la poliomielitis, el mes pasado se pusieron en marcha ensayos masivos. Walter Winchell había dicho a su audiencia radiofónica que la vacuna 'podría resultar mortal', pues en una partida se habían hallado virus vivos. La Fundación Nacional para la Parálisis Infantil, que dirige y costea la prueba, se apresuró a explicar que tres laboratorios comprueban cada partida de vacunas. Señaló la fundación que Jonas Salk, el creador de la vacuna, había suministrado el preparado comercial a más de 4000 niños de Pittsburgh, y ninguno de ellos había mostrado efectos adversos.»

CÉLULA SOLAR DE SILICIO. «Los laboratorios Bell dieron a conocer la semana pasada una pequeña oblea de silicio adulterado que convierte la luz solar directamente en energía eléctrica. Esa batería deriva de las investigaciones sobre los transistores. "Funciona con un rendimiento del 6 por ciento, pero los científicos de Bell creen que esa cifra puede aumentar hasta el 10 por ciento. No es verosímil que el dispositivo pueda sustituir a las grandes centrales eléctricas —una batería de 30.000 kilowatt ocuparía unas 40 hectáreas—, pero la compañía espera que sea útil como pequeña fuente de alimentación, por ejemplo para los sistemas telefónicos rurales.»

...cien años

EL GRAN CAÑÓN. «Con la previsión y liberalidad que desde el principio han caracterizado a nuestro gobierno, va a tomar el Gran Cañón del río Colorado, en Arizona, bajo su cuidado y custodia. Topógrafos oficiales ya han levantado planos de una zona del cañón. Completar el trabajo requerirá más de un año. Para los geólogos, el cañón brinda un campo de estudios cada vez más variado e inacabable. Para los amantes del paisaje y de los aspectos más tremendos y sobrecogedores de la naturaleza, no hay en el mundo una maravilla como ésta.»

INVESTIGACIÓN AERONÁUTICA. «La máquina voladora invención de Orville y Wilbur Wright, que en diciembre pasado realizó con éxito un vuelo en Kitty Hawk (Carolina del Norte), hizo otro intento el pasado 26 de mayo en Dayton (Ohio), que según los hermanos también fue afortunado. Se mantuvo la prueba en gran secreto, y sólo unos pocos han podido ser testigos. La máquina, propulsada a lo largo de unos treinta metros de pista, se elevó en el aire, voló una corta distancia y cayó. Esto se debió, según los inventores, a una avería del motor de gasolina que sumi-

nistra la potencia. En la caída se rompieron las hélices y no pudo repetirse la prueba.»

OSADOS DE LA BICI. «En la actividad de rizar el rizo en bicicleta, que tanto se ha popularizado últimamente, los ciclistas han desarrollado un ardor sin duda digno de mejor causa. La última novedad es el invento de un ingenioso ciclista de Berlín, de apellido Böttner, que ha construido un rizo doble (véase *ilustración*). Imagínese a qué velocidad el ejecutante debe lanzarse para atravesar los dos rizos. Acaso les sea posible apreciar el estoico sosiego de sus nervios.»

...ciento cincuenta años

YAKS. «Geoffrey Saint-Hilaire y otros eminentes naturalistas franceses están considerando la domesticación de animales que hasta ahora se conocían en Europa sólo como objetos de curiosidad científica. Recientemente, se han recibido unos cuantos ejemplares de yak procedentes de China y destinados al *Jardin des Plantes*; según el conde de Buffon (1707-1788), ese animal 'es más precioso que todo el oro del Nuevo Mundo'. En Tibet y China tira de pesadas cargas, da leche, ofrece una carne excelente y un pelo que puede transformarse en prendas de abrigo. Por consiguiente, aclimatarlo a Europa sería un inmenso servicio a la humanidad. Por cierto: el difunto lord Derby lo intentó y fracasó.»



Locos por la bicicleta. Acrobacias en Berlín, 1904.

COMPORTAMIENTO

Apetito reformable

La sensibilidad innata a la leptina, una hormona supresora del apetito, parece mantener el peso corporal en torno a un "valor prefijado". Hay ahora pruebas que indican que la leptina realmente programa y reprograma los circuitos cerebrales contenidos en el núcleo arqueado, zona del hipotálamo reguladora del apetito. Se ha descubierto que los cerebros de ratones obesos deficientes en leptina poseen más conexiones estimuladoras que los ratones normales con las neuronas promotoras de la nutrición y el engorde, y menos con las neuronas que contrarrestan esas tendencias. Administrando leptina a los ratones se restablece el equilibrio entre las conexiones, antes incluso de que reduzca el apetito y el peso; una hormona estimuladora del apetito produce el efecto contrario. También se ha visto que las células del núcleo arqueado de los ratones deficientes en leptina tienen menos ramificaciones. Administrándosela justo al nacer se consigue el mismo efecto que con una descarga natural de la sustancia y se restablece el desarrollo normal; pero suministrada en la edad adulta, carece de efectos sobre el número de ramas. Parece que la leptina y la nutrición de las primeras dos o tres semanas de vida tienen efectos a largo plazo sobre el desarrollo del cerebro.

—J. R. Minkel

NEUROLOGIA

No damos más de sí

Quizá se trate de una mala noticia, pero esa frase que suele oírse, que sólo usamos el diez por ciento del cerebro, no es cierta. La neurología no ha encontrado ninguna vasta reserva de capacidad cerebral que podamos explotar. Y ninguna sustancia de potenciación cerebral puede suplir a la práctica y el esfuerzo. Para empezar, el cerebro fue configurado por la selección natural. El tejido cerebral es caro metabólicamente; cuesta creer que la evolución hubiese permitido semejante desperdicio de capacidad. La neurología clínica aporta otra prueba: perder nueve décimas partes del cerebro es una catástrofe; perder cualquiera de sus partes causa una u otra minusvalía. La estimulación eléctrica de puntos del cere-

bro no ha descubierto áreas latentes que, pese al estímulo, no susciten emociones, movimientos o percepciones (cabe probarlo con pacientes sometidos sólo a anestesia parcial porque el cerebro carece de receptores del dolor). Las diversas técnicas de formación de imágenes han localizado un sinfín de funciones psicológicas en centros y sistemas específicos del cerebro. Nunca se ha hallado un área dormida a la espera de que se le asigne una tarea nueva.

—Barry L. Beyerstein
Universidad Simon Fraser
de Vancouver

ARQUEOLOGIA

Los primeros gatitos

Una necrópolis chipriota ofrece pruebas fundadas de que no fue la egipcia la primera civilización que domesticó los gatos. Otra lo logró cinco mil años antes. Unos investigadores dirigidos por Jean-Denis Vigne, del Museo Nacional de Historia Natural de París, hallaron el esqueleto completo de un gato de ocho meses yaciendo a menos de cuarenta centímetros de los huesos de una mujer de 30 años. Ambos conjuntos de restos estaban en el mismo sedimento y mostraban el mismo grado de conservación, lo que sugiere que el felino y el ser humano fueron enterrados juntos hace 9500 años. Así pues, parece evidente que la domesticación de los gatos tuvo lugar unos 3000 años después que la de los perros y muy cerca de la época en que se iniciaron el cultivo de la tierra y la cría de animales; por entonces, los gatos habrían resultado útiles para proteger los almacenes de grano de los ratones.

—Philip Yam



La compañía mutua entre gatos y humanos empezó mucho antes de lo que se creía.

PHILIP YAM

MEDIO AMBIENTE

Centrales eléctricas cloacales

En EE.UU. se tratan a diario unos 125 millones de metros cúbicos de aguas residuales con un costo anual superior a 25.000 millones de dólares. La microbiología podría aliviar ese gasto generando electricidad en la depuración de las aguas negras. Se llena de agua una pila de combustible que lleva electrodos de grafito y una membrana catalítica de carbono, plástico y platino. Los gérmenes contenidos en el cieno cloacal generan electrones libres cuando sus enzimas descomponen los azúcares, las proteínas y las grasas. En los experimentos, este dispositivo generó una potencia de 10 a 50 milivat por metro cuadrado de superficie de electrodo (un 5 por ciento de la potencia necesaria para encender una bombilla de árbol de Navidad). Mientras, esta pila eliminaba hasta un 78 por ciento del cieno orgánico del agua. El aparato, del tamaño de una mano, podría incorporar otros materiales para generar una potencia de 10 a 20 veces mayor.

—Charles Choi

Adecuadamente tratadas, las aguas residuales podrían ser una fuente de electricidad.



LESTER LEFKOWITZ Corbis

HISTORIA DE LA CIENCIA

Política científica

Freeman J. Dyson fue, con Feynman, Schwinger y Tomonaga, uno de los constructores de la electrodinámica cuántica, el principal avance de la física de partículas en la segunda posguerra mundial. El principal avance, pero no un avance revolucionario, según explica en una reseña que ha publicado en la *New York Review of Books* del último libro del teórico de cuerdas Brian Greene. Sorprenderá a quien haya conocido personalmente a Feynman que se le llame conservador, escribe; sin embargo, pese a su “maravillosa originalidad” lo era, al menos en cuanto físico. El propio Dyson tiene fama de original, y también se considera conservador. Concibe la historia de la ciencia como una tensión entre revolucionarios y conservadores. Su generación fue conservadora al ver que los revolucionarios de la generación anterior, Einstein, Heisenberg, Schrödinger, Dirac, seguían siéndolo pasado un cuarto de siglo y “se ponían en ridículo”. Los creadores de la electrodinámica cuántica

aceptaron la física que había, la mecánica cuántica —fruto, eso sí, de una genuina revolución—, y se limitaron a solventar problemas en ella, en vez de inventar una física nueva. Ahora, otra generación vuelve a la revolución, en este caso la de la teoría de cuerdas. También hay una vía conservadora hacia la extravagancia. Dyson la recorre conscientemente. Le desagrada el reduccionismo cuántico de la teoría de cuerdas y le niega sentido a su objetivo final, la cuantización de la gravedad, porque, sostiene, la gravedad es clásica y sólo clásica. Deriva esta afirmación de una conjetura: que en la naturaleza todo conspira para que el gravitón, el cuanto de la gravedad, no sea observable, y si por principio no es observable, no es real, como el éter prerrelativista. Pero Rutherford pensaba que los físicos cuánticos sólo “jugaban con símbolos” y Dirac no aceptaba la electrodinámica cuántica por lo fea que le parecía. Dyson mismo nos lo recuerda.

FISICA

Cómo se pesa la Tierra con una báscula

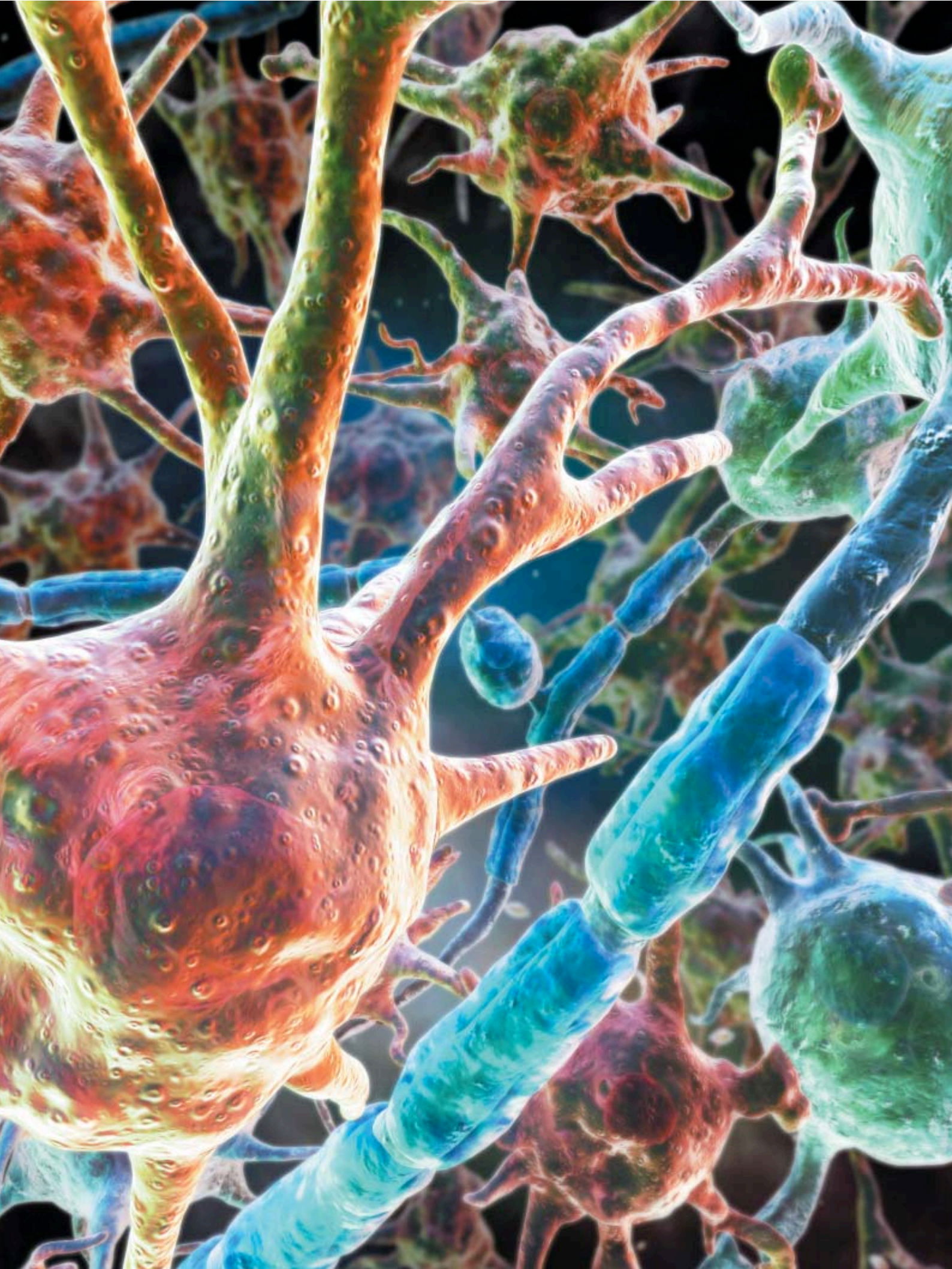
O, más bien, cómo se determina su masa. Pero, aun así, una báscula de baño sirve para la tarea. En física, problemas complicados pueden resumirse en una fórmula sencilla; en este caso, $g = G \times (\text{masa de la Tierra}) / (\text{distancia al centro de la Tierra})^2$. La aceleración de un cuerpo a causa de la fuerza de la gravedad, g , depende de la masa del objeto que lo atraiga. Tras muchos decenios de experimentos sabemos que G , la constante de la gravedad, vale $6,67 \times 10^{-11} (m^3 kg^{-1} s^{-2})$, con m en metros, kg en kilogramos y s en segundos. Y sabemos también a qué distancia nos hallamos en la



NASA

superficie del planeta de su centro: 6371 kilómetros. Para pesar la Tierra, basta tirar la báscula por la ventana, contar cuántos segundos tarda en estrellarse contra el suelo, medir la altura a que está la ventana y calcular con esos dos números cuánto vale g mediante la fórmula $\text{altura} = 1/2g (\text{tiempo que tarda en llegar al suelo})^2$. Nos saldrá 9,8 metros por segundo cada segundo. Estos valores de g , G y la distancia al centro de la Tierra nos darán una masa de la Tierra de 6×10^{24} kilogramos.

—Michael Wyession
Universidad de Washington



Células de la glía

Tras medio siglo en un segundo plano,
la investigación demuestra que las células de la glía
intervienen en las sinapsis y desempeñan un papel clave
en el aprendizaje y la memoria

R. Douglas Fields

During *Mr. Albert*, libro de reciente aparición, cuenta la historia de Thomas Harvey, patólogo que, en 1955, realizó la autopsia de Albert Einstein. Concluida su tarea, decidió llevarse el cerebro del genio a casa. Allí, flotando en el interior de un recipiente de plástico, permanecería 40 años. En varias ocasiones, Harvey repartió finos cortes del cerebro a científicos y seudocientíficos de todo el mundo, quienes estudiaron el tejido en busca de pistas que explicaran la genialidad de Einstein. Cuando Harvey llegó a los ochenta, colocó lo que quedaba del cerebro en el maletero de su Buick Skylark y cruzó el país para devolvérselo a la nieta de Einstein.

Uno de los científicos que examinaron cortes del preciado cerebro fue Marian C. Diamond, de la Universidad de California en Berkeley. No encontró nada especial en el número o el tamaño de las neuronas. Sin embargo, en el córtex de asociación, responsable de la cognición de alto nivel, halló una cifra elevadísima de las células de la glía: una concentración mucho mayor que la del promedio de su encéfalo.

¿Mera rareza? Quizá no. Cada vez existen más pruebas que sugieren que las células gliales desempeñan un papel mucho más importante del que se ha venido suponiendo. Durante decenios, los fisiólogos dirigieron su atención hacia las neuronas, consideradas fundamentales para la

comunicación cerebral. A la glía, en cambio, pese a superar en número a las neuronas en una proporción de nueve a uno, se le atribuía sólo una labor de mantenimiento: transportar nutrientes desde los vasos sanguíneos hasta las neuronas, mantener un buen equilibrio iónico y proteger de los agentes patógenos que consiguen eludir el sistema inmunitario. Con el sostén de la glía, las neuronas se hallarían libres para comunicarse entre sí a través de las sinapsis y establecer una red de conexiones que nos permiten pensar, recordar y saltar de alegría.

Este modelo de la función cerebral, que ha perdurado largo tiempo, podría cambiar drásticamente si se confirman las nuevas hipótesis sobre la glía. En los últimos años, las nuevas técnicas de formación de imágenes han mostrado que las neuronas y la glía participan en un diálogo de doble sentido, desde el desarrollo embrionario hasta la vejez. La glía influye en la formación de las sinapsis y ayuda a determinar qué conexiones neuronales se refuerzan o se debilitan con el tiempo; tales cambios resultan esenciales para el aprendizaje y la memoria a largo plazo. Las investigaciones más recientes demuestran que las células de la glía se comunican también entre ellas mediante una red distinta de la neuronal, aunque paralela a la misma, red que influye en la operación correcta del cerebro. Se dibuja así un panorama excitante y prometedor: más

1. LAS CELULAS GLIALES
(en rojo) superan a las neuronas en una proporción de nueve a uno, lo mismo en el cerebro que en el resto del sistema nervioso.



de la mitad del cerebro, inexplorada durante medio siglo, puede encerrar una valiosa información sobre el funcionamiento de la mente. Con todo, los neurobiólogos prefieren actuar con cautela y no precipitarse en la asignación de un nuevo protagonismo a la glía.

“Escuchas” neuronales

Solemos asociar el sistema nervioso a una maraña de hilos que enlazan unas neuronas con otras. Cada neurona se prolonga en su axón, que transmite señales eléctricas a sus botones terminales. Cada botón libera neurotransmisores —mensajeros químicos— a través de una pequeña hendidura sináptica hasta un receptor en forma de ramita, la dendrita, que pertenece a una neurona adyacente. Rodeando a neuronas y axones encontramos un conjunto variado y numeroso de células de la glía. A mediados de los cincuenta del siglo pasado, los neurobiólogos sospechaban ya que las células gliales podrían contribuir al procesamiento de la información, pero no pudieron corroborarlo. Con el tiempo, se fue abandonando esa línea de investigación. La glía pasó a segundo término.

Se fracasó en detectar la función señalizadora de esas células, en parte, porque se carecía de las técnicas analíticas pertinentes, pero sobre todo porque se buscaba en el sitio equivocado. Se supuso, erróneamente, que si la glía pudiera establecer una comunicación, se serviría del mismo mecanismo eléctrico empleado con ese fin por las neuronas. Es decir, las células de la glía generarían potenciales de acción (pulsos eléctricos) que provocarían finalmente la liberación de neurotransmisores a través de sinapsis, excitando con ello la actividad eléctrica de otras células. De hecho, se descubrió que en la glía había canales iónicos sensibles al voltaje, iguales que los que generan señales eléctricas en los axones; pero se creía que tales canales se limitaban a registrar indirectamente el nivel de actividad de las neuronas vecinas. Se observó, asimismo, que la membrana de las células gliales carecía de las propiedades que se requieren para propagar sus propios potenciales de acción. Nadie advirtió, sin embargo, y eso es precisamente lo que las técnicas avanzadas de formación de imágenes nos han revelado, que la glía no se sirve de señales eléctricas, sino químicas, para transmitir mensajes.

A mediados de los años noventa, se introdujeron nuevos enfoques sobre la detección de la actividad neuronal por las células de la glía. Se apoyaban en la observación de que las células gliales presentaban un repertorio de receptores en sus membranas, capaces de responder a un amplio abanico de moléculas,

incluidos, en algunos casos, neurotransmisores. Este descubrimiento indujo a pensar que la glía podría comunicarse utilizando señales químicas que las neuronas no reconocían y, a la vez, reaccionar ante neurotransmisores liberados por neuronas.

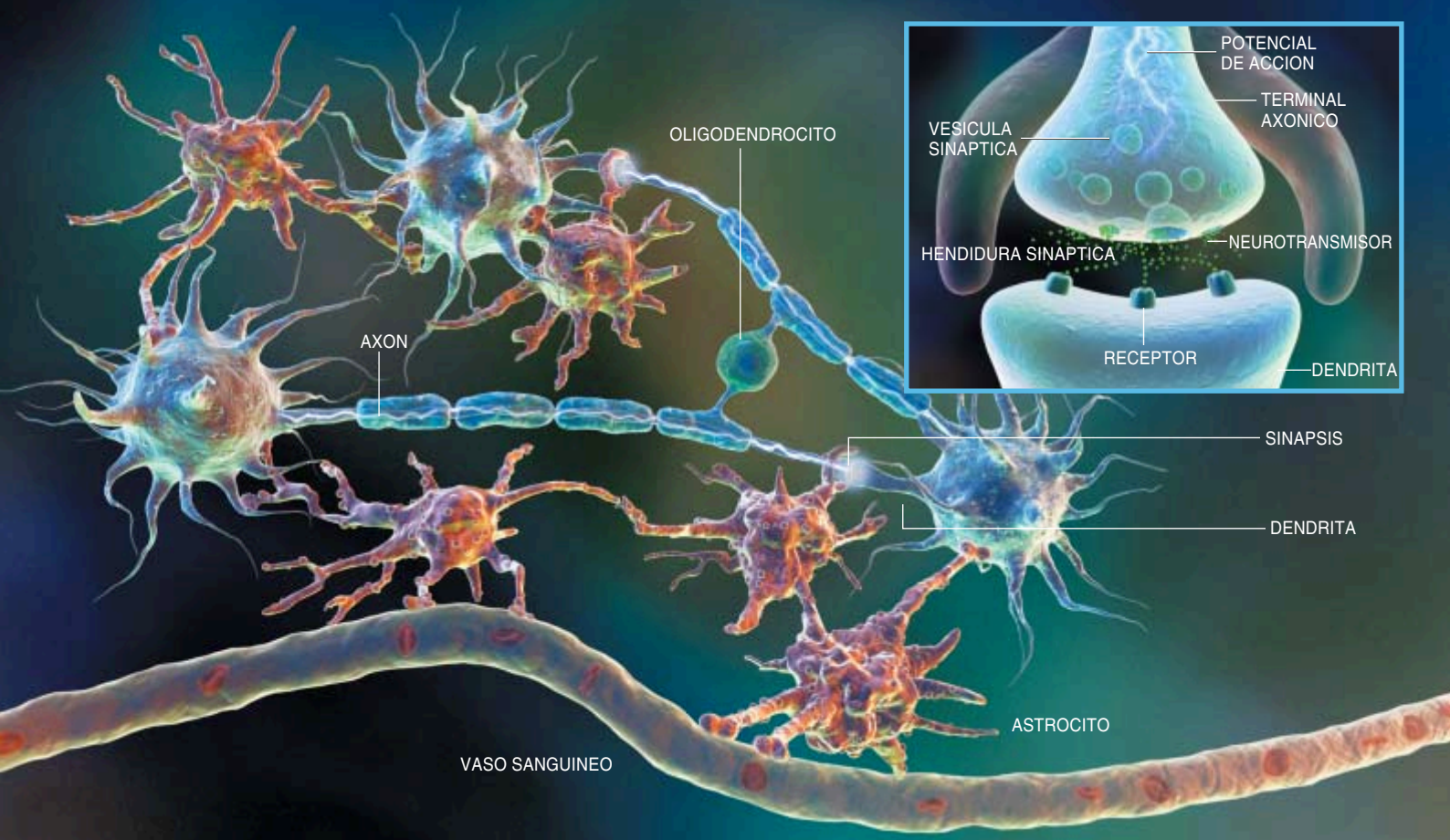
Para someter a prueba tal hipótesis, hubo que empezar por demostrar que las células de la glía realmente “escuchan” lo que las neuronas “se cuentan” entre sí y modifican su comportamiento en función de lo que “oyen”. En trabajos realizados con anterioridad se había puesto de manifiesto que una entrada de calcio en las células gliales podría constituir una señal de que habían sido estimuladas. A partir de este dato, se diseñó un método para ver si las células terminales de Schwann —células gliales que rodean las sinapsis allí donde los nervios establecen contacto con las células musculares— eran sensibles a las señales neuronales emitidas en dichas uniones: la técnica de formación de imágenes por calcio. El método, en efecto, permitió confirmar que las células de Schwann, al menos, respondían a la descarga sináptica y que dicha respuesta implicaba una entrada masiva de iones calcio en las células.

Otras células de Schwann cumplen una función más general que la sináptica que acabamos de indicar: rodean a los axones a lo largo de los nervios del cuerpo. Los oligodendrocitos, otro tipo de células gliales, envuelven los axones del sistema nervioso central (cerebro y médula espinal). Desde nuestro laboratorio, en los Institutos Nacionales de la Salud (NIH), nos planteábamos si la glía era capaz de registrar la actividad neuronal en cualquier sitio donde ésta fluyese a través de los axones. De ser así, ¿qué mediaba esa comunicación? Y, más importante aún, ¿qué efecto tenía sobre la glía lo que sus células “oían”?

Para encontrar las respuestas, cultivamos neuronas sensoriales (células del ganglio de la raíz dorsal) de ratón en placas equipadas con electrodos que nos permitirían disparar potenciales de acción en los axones. A unos cultivos añadimos células de Schwann; a otros, oligodendrocitos.

Resumen/Glía

- Durante decenios se han venido atribuyendo a las neuronas las comunicaciones desarrolladas en el cerebro y el sistema nervioso. A las células gliales se les relegaba en funciones tróficas, pese a superar la cuantía de las neuronas en una proporción de nueve a uno.
- Las nuevas técnicas de formación de imágenes y los instrumentos de detección de señales revelan ahora que las células de la glía se comunican entre sí y con las neuronas a propósito de los mensajes que cursan por la red neuronal. La glía puede modificar tales señales en los hiatos sinápticos que separan las neuronas; pueden incluso determinar el punto de formación de sinapsis.
- Dada esta especialización, la glía podría desempeñar un papel crítico en el aprendizaje y la formación de recuerdos, así como en la reparación del tejido nervioso. Para comprobarlo se han pergeñado diversos experimentos.



Necesitábamos registrar de forma independiente la actividad de los axones y la de la glía, para determinar si esta última detectaba los mensajes del axón. Por ello utilizamos la técnica de formación de imágenes del calcio, que muestra la evolución del medio celular mediante el uso de un colorante que emite fluorescencia cuando se enlaza con iones calcio. Cuando un axón transmite una señal eléctrica, en la membrana de la neurona se abren canales iónicos sensibles al voltaje y se facilita así la entrada de iones calcio. Cabría, pues, esperar que se percibiera el impulso eléctrico a través de un destello de fluorescencia, verde, que iluminara toda la neurona desde su interior. Conforme aumentase la concentración de calcio en una célula, la fluorescencia brillaría más. Su intensidad podría medirse con un tubo fotomultiplicador; las imágenes de las células destellantes podrían digitalizarse y mostrarse en falso color y en tiempo real, en un monitor (algo parecido a las imágenes de radar de las tormentas que ilustran los informes sobre el tiempo). Si las células gliales se percatasen de las señales de las neuronas y lo

2. GLIA Y NEURONAS operan juntas en el cerebro y la médula espinal. La neurona envía un mensaje a lo largo del axón, que, a través de la hendidura sináptica, pasa a una dendrita de otra neurona. Los astrocitos de la glía, que aportan nutrientes a las neuronas, rodean y regulan las sinapsis. Los oligodendrocitos producen la mielina que aísla los axones. Cuando el mensaje eléctrico de una neurona (potencial de acción) alcanza el terminal axónico (*recuadro*), el mensaje promueve el movimiento de las vesículas hacia la membrana; se abren y liberan neurotransmisores (moléculas de señalización) que cursan a través de la angosta hendidura sináptica y se encaminan hacia los receptores de la dendrita. Principios similares operan en el sistema nervioso periférico, con la diferencia de que son las células de Schwann las encargadas de la mielinización.

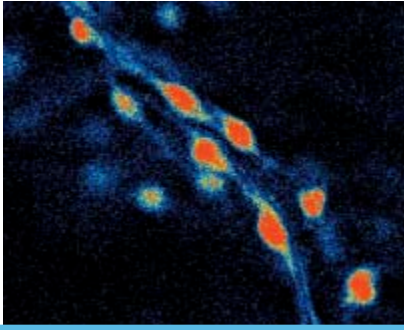
hiciesen en parte absorbiendo calcio de su microentorno, también refulgirían, aunque más tarde.

En la sala a oscuras, fija la mirada en la pantalla del ordenador, Beth Stevens y yo nos disponíamos a recibir la confirmación, preparada durante tres meses, de nuestra hipótesis. Cuando encendimos el estimulador, las neuronas ganglionares de la raíz dorsal respondieron al instante: mudaban del azul al verde, después al rojo y luego al blanco en una escala de falsos colores correspondiente a la concentración de calcio, a medida que el ion penetraba en los axones. Al principio no experimentaban cambio alguno las células de Schwann ni los oligodendrocitos; pero al cabo

de unos 15 segundos, las células gliales empezaron de repente a encenderse, como bombillas en un árbol navideño. Estas células habían detectado el impulso eléctrico en los axones y respondían aumentando la concentración de calcio en su propio citoplasma.

Comunicación glía-glía

Habíamos comprobado que las células de la glía detectan la actividad axónica mediante la absorción de calcio. En las neuronas, el calcio activa enzimas que sintetizan neurotransmisores. Presumiblemente, el flujo de calcio hacia el interior de las células gliales desencadenaba alguna respuesta. Pero, ¿qué tipo de respuesta? Con mayor radi-



calidad, ¿qué es lo que incentivaba esa entrada de calcio?

Los elementos de la explicación se recogieron de trabajos realizados con anterioridad en torno a otras células gliales del cerebro: los astrocitos. Entre sus funciones, les cumple a éstos transportar nutrientes desde los capilares hasta las células nerviosas. Deben también mantener, alrededor de las neuronas, las condiciones iónicas óptimas para la transmisión de señales eléctricas. Ello lo consiguen eliminando

el exceso de iones y neurotransmisores que las neuronas liberan en su proceso de excitación. En un estudio clásico llevado a cabo en 1990, el grupo dirigido por Stephen J. Smith utilizó la técnica de formación de imágenes del calcio para demostrar que la concentración de este ion en un astrocito aumentaba repentinamente cuando se añadía glutamato (un neurotransmisor) al cultivo celular. Enseguida se propagaron ondas de calcio por todos los astrocitos del cultivo. Los astrocitos reaccionaron como si el neurotransmisor hubiera sido liberado por una neurona.

Algunos expertos se plantearon si tal comunicación se debía al tránsito de iones calcio u otras moléculas señalizadoras afines por las puertas abiertas entre astrocitos co-

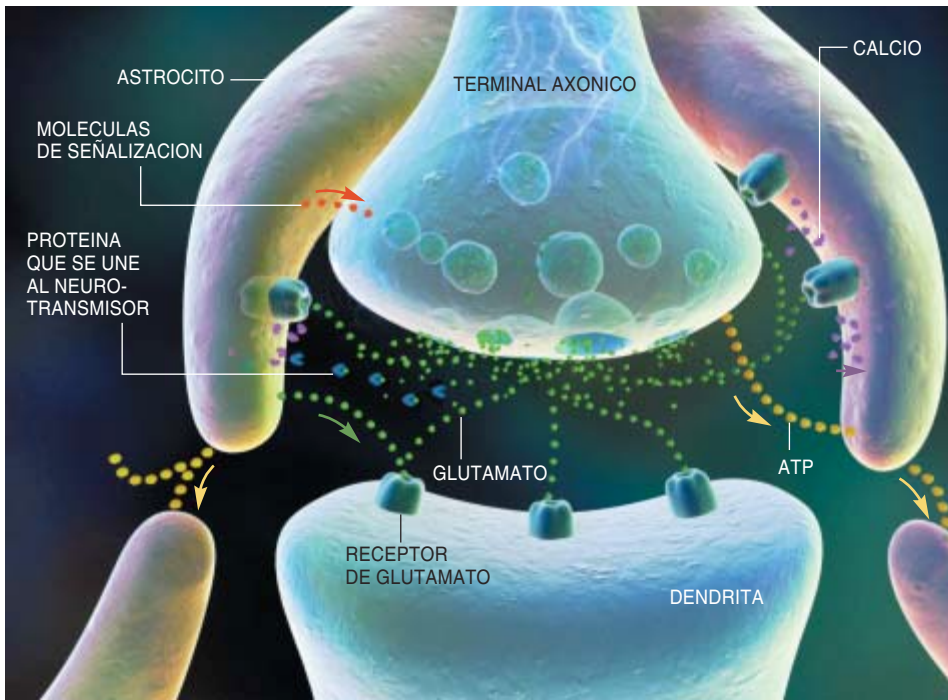
lindantes. En 1996, S. Ben Kater y su equipo, de la Universidad de Utah, minaban esa posibilidad. Con un microelectrodo muy afilado, cortaron una línea recta a través de una capa de astrocitos en cultivo; crearon así un espacio vacío, libre de células, a manera de autopista flanqueada por bosques en llamas. Cuando provocaron ondas de calcio a un lado del corte, éstas no tuvieron dificultad en cruzar el espacio vacío y propagarse hasta los astrocitos del otro lado. Por tanto, los astrocitos no se comunicaban por contacto físico, sino a través del medio extracelular.

Durante los años siguientes, otras investigaciones alcanzaron resultados similares. Las respuestas mediadas por calcio podían inducirse en los astrocitos agregando neurotransmisores o recurriendo a electrodos para estimular la liberación de neurotransmisores desde las sinapsis. Mientras tanto, fisiólogos y bioquímicos descubrían que la glía tenía receptores para muchos de los neurotransmisores que las neuronas emplean en su comunicación sináptica; contaba también con la mayoría de los canales iónicos que capacitan a las neuronas para disparar los potenciales de acción.

ATP: mensajero glial

Estos y otros hallazgos causaban desconcierto y confusión. Por un lado, la comunicación entre células gliales se controlaba mediante absorción de calcio, igual que en la comunicación neuronal; mas, por otro lado, los pulsos eléctricos inducían cambios de concentración de calcio en las neuronas, pulsos que ni existían en la glía ni alcanzaban a ésta. Entonces, ¿qué mecanismo iniciaba la entrada de calcio en la glía? ¿Se trataba de un fenómeno eléctrico diferente o de otro mecanismo?

En sus experimentos con la glía, los investigadores observaron la acumulación de una molécula que les resultaba muy familiar: el ATP (trifosfato de adenosina), la principal fuente de la energía requerida para el desarrollo de la actividad celular. Además de reservorio energético, el ATP constituye un excelente mensajero intercelular. Dado que se concentra principalmente en el



3. LOS ASTROCITOS REGULAN LA SEÑALIZACIÓN sináptica. Lo hacen de varias formas. El axón transmite una señal a una dendrita mediante descarga de un neurotransmisor (verde); en este caso, el glutamato. Emite también ATP (amarillo). Estos compuestos provocan luego una entrada de calcio (púrpura) en los astrocitos; en virtud de la misma, los astrocitos establecen comunicación entre sí mediante la liberación de su propio ATP. Los astrocitos pueden reforzar la señalización secretando el mismo neurotransmisor; o bien pueden debilitarla, mediante absorción del neurotransmisor o secreción de proteínas que se enlacen con el mismo (azul), impidiendo así que alcance su diana. Los astrocitos liberan también moléculas de señalización (rojo) que provocan que el axón incremente o reduzca la cantidad de neurotransmisor liberado cuando vuelva a activarse. El cerebro utiliza la modificación de las conexiones entre neuronas para revisar sus respuestas ante estímulos a medida que va acumulando experiencia, es decir, conforme aprende. En el sistema nervioso periférico, son las células de Schwann las que rodean las sinapsis.