

Rafael Yuste

El cerebro, el teatro del mundo

**Descubre cómo funciona
y cómo crea nuestra realidad**

PAIDÓS Contextos

1.^a edición, septiembre de 2024

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor. La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías.

Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento.

En **Grupo Planeta** agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan seguir desempeñando su labor.

Dirígete a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesitas fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puedes contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

© Rafael Yuste Rojas, 2024

© de las ilustraciones, Rafael Yuste Rojas, 2024

© de todas las ediciones en castellano,

Editorial Planeta, S. A., 2024

Paidós es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona, España

www.paidos.com

www.planetadelibros.com

ISBN: 978-84-493-4283-7

Fotocomposición: Realización Planeta

Depósito legal: B. 9.538-2024

Impresión y encuadernación en Huertas Industrias Gráficas, S. A.

Impreso en España – *Printed in Spain*



Sumario

Introducción	17
Capítulo 1. De la doctrina neuronal a las redes	21
El cerebro	24
La médula espinal	28
La tabla de reflejos	30
La doctrina neuronal	32
La teoría de las redes neuronales	34
Un cambio de rumbo	37
Capítulo 2. De las redes neuronales al teatro del mundo . .	41
La evolución del sistema nervioso	43
Moverse lo cambia todo	46
La predicción del futuro	49
La teoría de control	50
Los conjuntos neuronales, otra vez	53
Immanuel Kant tenía razón	54
El teatro de la mente	56
Capítulo 3. El teatro del mundo por dentro: las neuronas digitales	59
Las neuronas: los árboles del cerebro	61
Tenemos tres redes de internet en la cabeza	62
Las neuronas, lista para disparar	64

12 EL CEREBRO, EL TEATRO DEL MUNDO

El potencial de acción es la señal digital del cerebro . . .	65
Las espinas dendríticas de Ramón y Cajal	66
Las sinapsis y sus neurotransmisores.	68
Algunas neuronas inhiben a otras	69
Más de mil tipos de neuronas.	70
El teatro de la mente es una máquina digital.	72
Las sinapsis están siempre cambiando y son estocásticas.	74
Capítulo 4. El teatro del mundo por dentro: las redes	
y los conjuntos neuronales.	79
Lorente de Nó al rescate.	81
Las redes neuronales: un poco de historia	83
De la neurociencia a Facebook y Google	86
Las redes neuronales recurrentes recuerdan las cosas . .	87
Las redes neuronales saben aprender.	90
Forjar el mapa del mundo con sinapsis estocásticas	90
La visión desde arriba.	92
Confirmar los conjuntos neuronales con experimentos.	94
Capítulo 5. Cómo se construye el teatro del mundo.	
Los planes europeos y norteamericanos de desarrollo . .	100
Las células se inducen unas a otras	101
Los gradientes moleculares son el GPS del cuerpo	102
El tubo neural es el precursor del sistema nervioso. . . .	103
Un código molecular para cada célula	105
La fábrica de neuronas	106
Conectar las neuronas a distancia	107
Navegar por el cerebro, poco a poco.	108
La sinaptogénesis: el baile entre axones y dendritas . . .	110
La muerte de la mayoría de las neuronas.	111
Descubrimiento los factores tróficos por serendipia . . .	112
La competencia a muerte por conectarse	114

Sumario

13

El periodo crítico del desarrollo del cerebro.	116
Periodos críticos para todo.	117
¿Porque no seguimos siendo niños?	118
Capítulo 6. Ajustar el teatro del mundo a la realidad	
con los sentidos.	121
Los sentidos llegan a los límites de la física.	123
La percepción sensorial se genera internamente.	124
Los sentidos miden los cambios en el mundo.	125
La visión mide los objetos a distancia.	126
La retina mide el contraste visual de los objetos.	128
La corteza visual dibuja los objetos.	129
El cerebro genera abstracciones jerárquicas.	131
El sistema visual es una red neuronal.	132
El cerebro a veces se inventa la realidad.	133
Los colores son generados por el cerebro.	134
El oído mide cambios en el mundo.	136
El oído detecta cosas importantes para nuestra vida. ...	137
La corteza cerebral construye la realidad auditiva.	138
El tacto mide cambios en la posición y estructura de cosas cercanas.	139
El dolor detecta estímulos nocivos y se genera internamente.	140
El olfato y el gusto reconstruyen químicamente a los objetos.	142
Capítulo 7. El desván de la memoria del teatro	
del mundo.	145
¿Qué es la memoria y para qué sirve?	147
La historia de un paciente con amnesia.	149
El hipocampo es necesario para almacenar recuerdos. ..	150
Los conjuntos neuronales almacenan recuerdos.	152
La dopamina se activa en el aprendizaje.	153

La dopamina sirve para corregir el modelo del mundo .	155
El hipocampo crea el espacio y el tiempo.	156
El cerebro tiene un GPS y un reloj	158
La plasticidad de los recuerdos.	159
Capítulo 8. El pensamiento: poner a funcionar el modelo	
del mundo.	163
La corteza cerebral define a los mamíferos.	165
La corteza hace de todo	167
La corteza calcula probabilidades	168
La corteza asociativa genera el pensamiento	169
La corteza temporal es un archivador de conceptos. ...	170
La corteza parietal archiva el espacio	172
La corteza prefrontal corrige el comportamiento.	173
El despertar de la conciencia en la corteza asociativa. .	175
El misterio del sueño	176
Capítulo 9. Ejecutar el plan perfecto con músculos	
y emociones	179
Donde se toman las decisiones.	182
De la decisión a la actuación.	183
La corteza manda y la médula ejecuta	184
Los ganglios basales suprimen los demás	
comportamientos	185
El cerebelo retoca el comportamiento	187
Las emociones controlan el comportamiento.	189
El hipotálamo dirige la orquesta hormonal.	189
Los péptidos controlan comportamientos sofisticados .	192
El sistema nervioso periférico ejecuta las emociones. .	194
El sistema nervioso entérico regula la digestión	196
Capítulo 10. En el umbral de un nuevo humanismo.	
De la evolución al desarrollo	202

<i>Sumario</i>	15
Repercusiones en la ciencia y la medicina	203
Repercusiones en la tecnología	204
Repercusiones en la sociedad	206
Una nueva cultura humanística	207
Glosario de términos	209
Bibliografía	213
Índice onomástico y analítico	215

Capítulo 1

De la doctrina neuronal a las redes



Voy a contar una historia sobre lo más importante del mundo: nuestro cerebro. Una masa de materia que tenemos en la cabeza y que está compuesta de casi cien mil millones de neuronas, conectadas en una maraña indescifrable. Sinceramente, creo que el cerebro es el fragmento más fascinante del universo. ¿Por qué digo esto? Porque, de esta sopa de neuronas y espaguetis de conexiones surge, de una manera todavía misteriosa, pero que ya empezamos a entrever: la mente humana. Todas las actividades mentales y cognitivas de los seres humanos, incluyendo nuestros pensamientos, nuestra personalidad, nuestra conciencia, nuestras percepciones, recuerdos, emociones, comportamiento, todo lo que hemos sido, lo que somos y lo que seremos, salen del cerebro. Y no hay magia, de la actividad neuronal surge la mente humana; no aparece del éter o del aire, sino del cerebro. Esto es algo que ya sabían los médicos desde tiempos de los egipcios, que astutamente se dieron cuenta de que, cuando había daño en el cerebro, también había repercusiones en las actividades motoras y cognitivas. Desde entonces y hasta hoy en día, médicos y científicos hemos comprobado sin ningún atisbo de duda que el sustrato biológico de la mente es el cerebro. De hecho, lo hemos descubierto no solamente estudiando casos clínicos de pacientes humanos, sino también haciendo experimentos con animales de laboratorio. Resulta que la naturaleza funciona de una manera coherente y sistemática, y la biología de los seres humanos es idéntica a la biología de otras

especies. Somos animales bilaterianos, es decir, con simetría bilateral; vertebrados, con columna vertebral; pertenecemos a la clase de los mamíferos, con glándulas mamarias y pelo, y, dentro de los mamíferos, a los primates, es decir, a los monos arborícolas. Tenemos un cerebro más grande de lo normal, pero, a la hora de la verdad, somos un animal más. Por eso, si estudiamos y entendemos los cerebros de otros animales, esencialmente los entendemos todos, incluido el nuestro.

Antes de entrar en materia, tenemos que detenernos un momento para explicar de qué estamos hablando exactamente. ¿Qué es el cerebro? Lo que normalmente entendemos como cerebro es una parte del sistema nervioso central, un órgano del cuerpo compuesto de neuronas y células gliales, protegido por estructuras óseas. El sistema nervioso central se compone del cerebro propiamente dicho y de la médula espinal. El cerebro se encuentra dentro del cráneo, mientras que la médula se encuentra dentro de la columna vertebral. Además del sistema nervioso central, tenemos también otro sistema nervioso, el periférico, distribuido por todo el cuerpo y compuesto de ganglios y nervios, recubriendo el cuerpo y también el aparato digestivo.

Vamos a dar un repaso a estos dos sistemas nerviosos, visitando un poco, a vista de pájaro, todas sus partes.

EL CEREBRO

Empezaremos por la parte más importante: el cerebro, el centro de operaciones del sistema nervioso central. En realidad, lo que llamamos cerebro forma técnicamente parte del encéfalo, el órgano más grande del sistema nervioso central de los mamíferos, que se localiza en la parte superior, dentro del cráneo, incluyendo también el tronco del encéfalo y el cerebelo. El encéfalo está recubierto de una corteza que llamamos, precisamente, corteza cerebral, aunque en

latín es *cortex*. Va a ser la parte del cerebro protagonista de este libro, porque ahí parece que está ocurriendo todo lo que nos interesa: la generación de la actividad mental. La corteza es, en realidad, una capa muy fina, tiene cerca de dos milímetros de grosor, recubre todo el encéfalo y está doblada y arrugada, como si la naturaleza la hubiera metido a presión dentro del cráneo. Y hay algo de verdad en ello, pues resulta que la corteza cerebral de los seres humanos es enorme, por eso está doblada en una serie de surcos y circunvoluciones, para que quepa bien en el cráneo. Si la estirásemos y extendiéramos, tendría el tamaño aproximado de una servilleta bastante grande, de esas que se ponen en los restaurantes caros. En otros animales no está arrugada, lo que nos da una pista de que, en la evolución del ser humano, la corteza ha crecido de una manera desmesurada. Pero ¿por qué, en vez de arrugar la corteza, la naturaleza no nos dotó de cabezas más grades? Es posible que los humanos no tengamos una cabeza más grande porque no sería posible que naciéramos a través del canal pélvico de las mujeres. Si lo pensamos bien, es sorprendente que, en la especie humana, antes de que se desarrollase la medicina, era muy normal que las mujeres y los fetos murieran durante el parto o tuvieran grandes problemas colaterales. El hecho de que el parto sea tan traumático y difícil es una barbaridad desde el punto de vista de la evolución, que está interesada precisamente en la supervivencia de la especie. ¡Vaya chapuza! Es un mal diseño. Si alguna vez habéis presenciado un parto, sabréis de lo que estoy hablando: es algo bastante traumático. De hecho, durante el nacimiento, los huesos del cráneo están solapados para que la cabeza pueda pasar por el canal pélvico y, justo después de nacer, el cráneo se abre como si fuese una flor, para ir solidificándose después del nacimiento. Esto indica la importancia de la corteza para nuestra especie, pues la evolución ha maximizado el tamaño de nuestra cabeza hasta el límite de lo posible, incluso hasta el punto de poner en riesgo al recién nacido y su madre.

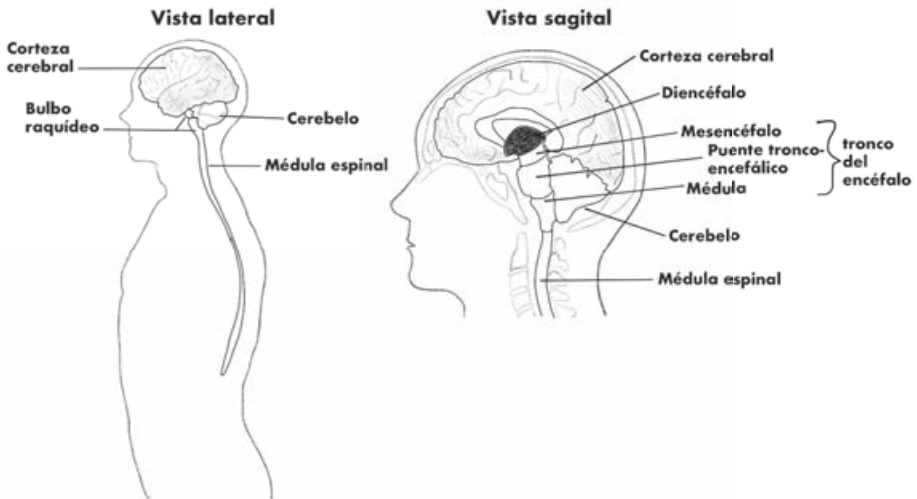


Figura 1.1. El sistema nervioso central se compone del cerebro, con muchas subdivisiones anatómicas, y la médula espinal.

Entonces, los humanos somos animales corticales por excelencia. Esto arroja algo de luz sobre la corteza cerebral, pues, si pudiéramos entender cómo funciona la corteza, entenderíamos al ser humano por dentro, sabríamos qué es lo que nos hace humanos y nos distingue de otros animales. Pero ¿qué hace la corteza? Pues en esto llevamos trabajando muchos de nuestros colegas y nosotros mismos desde hace más de cien años, una red de científicos que se extiende por el espacio y el tiempo. Una avanzadilla: es posible que la corteza sea la computadora biológica capaz de solucionar cualquier problema que sea matemáticamente solucionable; igual que una máquina de Turing, pero construida con materiales biológicos. Lo veremos en detalle más adelante.

Debajo de la corteza, todavía en el encéfalo, tenemos los ganglios basales, una estructura bastante complicada formada por muchos núcleos conectados entre sí, de tal forma que los estudiantes de Medicina que tienen que memorizarla se echan a temblar. Tampoco

tenemos muy claro qué es lo que hacen los ganglios basales, pero parece que están involucrados en la selección de comportamientos motores. Reciben muchas conexiones de las partes de la corteza que deciden y controlan los movimientos que hacemos, y mandan su información de vuelta a la corteza. La hipótesis es que sirven para escoger ese comportamiento ideal, mientras inhiben todos los demás. Si lo pensamos bien, generar un comportamiento y solo uno es un problema fundamental que el cerebro tiene que resolver. Imaginemos que nuestro cuerpo intentara hacer dos o tres cosas a la vez. Seríamos un desastre evolutivamente. Si viene un león, hay que correr, no es tiempo de empezar a rascarnos la oreja: hay que poner en marcha las piernas a toda velocidad, mientras silenciamos todos los demás comportamientos que pensábamos hacer.

Dentro del encéfalo tenemos también el tálamo, que se encuentra debajo de la corteza y está conectado de una manera bidireccional con ella. Recibe información de los órganos sensoriales y la manda a la corteza, y esta a su vez le manda información de vuelta. Pero, por cada conexión que el tálamo manda hacia la corteza, recibe diez de vuelta. Por eso mucha gente piensa que el tálamo, en realidad, es parte de la corteza. Es como si fuese la garita de guardia que tiene la corteza para controlar la información que recibe. Desde ese punto de vista, el tálamo estaría íntimamente ligado a la atención, posiblemente también a la conciencia. De hecho, si un paciente tiene una lesión talámica, normalmente se queda inconsciente. El tálamo también se activa de manera muy especial durante el sueño. Es un núcleo fascinante.

Debajo del tálamo tenemos el hipotálamo, como su propio nombre indica. El hipotálamo es como la estación central de todas las emociones. Está conectado con la parte de la corteza que procesa información sensorial y digiere esa información para secretar péptidos y hormonas. Estos activan todo un programa fisiológico sofisticado que involucra gran parte del cuerpo para organizar, entre otras cosas, la respuesta a situaciones emocionales importantes

para el animal. El hipotálamo también está conectado con las partes de la corteza que tienen influencia en la memoria, ya que el contenido emocional es muy importante a la hora de recordar las cosas.

Si seguimos bajando por el cerebro, nos salimos del encéfalo y llegamos a la zona del tronco del encéfalo, parecido al tronco de un árbol, pues las demás partes del encéfalo serían las ramas y la copa. En el tronco del encéfalo encontramos un montón de núcleos, que tienen que ver en general con la actividad basal y rutinaria imprescindible para mantenernos vivos. Por ejemplo, controlar la respiración, el sistema cardiovascular, los latidos del corazón y el flujo cardíaco, reflejos fundamentales del cuerpo y de la cabeza, etcétera. Por eso, si se daña el tronco del encéfalo, fallecemos. De hecho, esa es precisamente la parte del sistema nervioso que intentan seccionar los toreros con su espada.

Detrás, justo en el tronco del encéfalo, está el cerebelo, ‘pequeño cerebro’ en latín. Quizá sea más pequeño que el cerebro, pero, si se extendiese, sería enorme. El cerebelo tiene también una corteza (la corteza cerebelar), igual que el cerebro, que también está arrugada en el caso de los humanos y de muchas otras especies. Tampoco sabemos muy bien para qué sirve, pero parece que el cerebelo está involucrado en el aprendizaje y la regulación del comportamiento motor. Si el cerebelo se daña, bien por un accidente de tráfico, por un tumor o a veces por ingestión exagerada de alcohol, se pierde la capacidad de realizar comportamientos motores finos, como tocar el piano; también se pueden sufrir alteraciones del equilibrio o graves problemas de aprendizaje de nuevos comportamientos.

LA MÉDULA ESPINAL

Si seguimos bajando por el sistema nervioso central, saliendo del encéfalo y su tronco, llegamos por fin a la médula espinal. Es la parte del sistema nervioso central que se encarga de los músculos

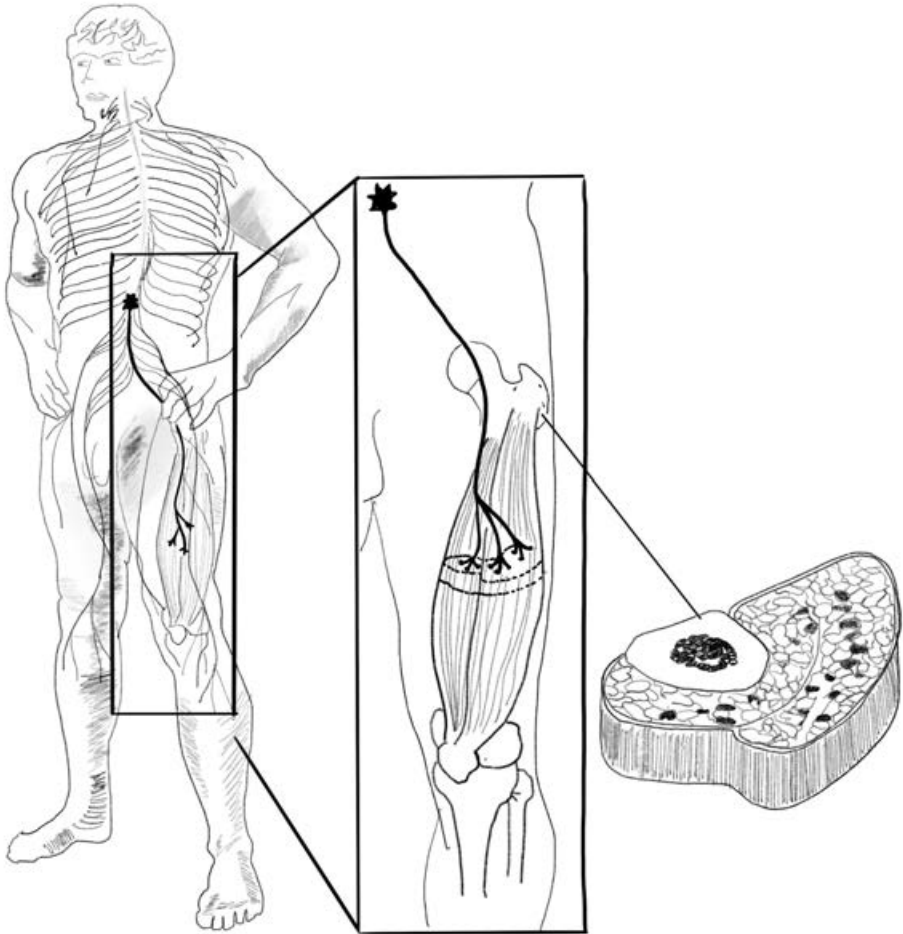


Figura 1.2. La médula recibe instrucciones del cerebro y sus neuronas (dibujadas en negro) controlan la musculatura esquelética, que mueve el cuerpo.

y de la piel. Recibe información del exterior a través del tacto, pero también estímulos dañinos, y monitoriza de una manera muy precisa el estado, la posición y la tensión de todos los músculos, tendones, huesos y articulaciones del cuerpo. Toda esa información que recibe la médula espinal se combina con las instrucciones que llegan desde arriba, desde el cerebro, para la realización de comportamientos y de movimientos concretos. Todo esto se combina en una serie de reflejos, es decir, un movimiento automático que ocurre en respuesta a un estímulo sensorial determinado; por ejemplo, cuando giramos la cabeza si oímos un ruido o retiramos la mano si nos quemamos. De hecho, la médula espinal es como una tabla de reflejos, una especie de listín telefónico donde ciertos *inputs* tienen como resultado determinados movimientos reflejos.

LA TABLA DE REFLEJOS

Desde los tiempos de los egipcios, pasando por los griegos, distintas civilizaciones y culturas han intentado explicar para qué sirve el cerebro. En el Renacimiento, con la incorporación de la ciencia moderna, comienza también la especulación sobre cómo funciona internamente. A pesar del trabajo de generaciones de científicos, es justo decir que todavía no hay una teoría aceptada por todo el mundo de qué es exactamente lo que hace el cerebro y cómo lo hace. Este es el objetivo del presente libro. Nuestra argumentación arranca con los inicios de la historia de la ciencia, y se construye sobre el trabajo y las teorías de las generaciones anteriores de científicos.

Quizá la teoría más influyente en el siglo de investigaciones que llevamos en neurociencia sobre el cerebro es la idea de que el cerebro es una tabla de reflejos, con entrada y salida de información de manera automática y prescrita. Este modelo se ha utilizado para

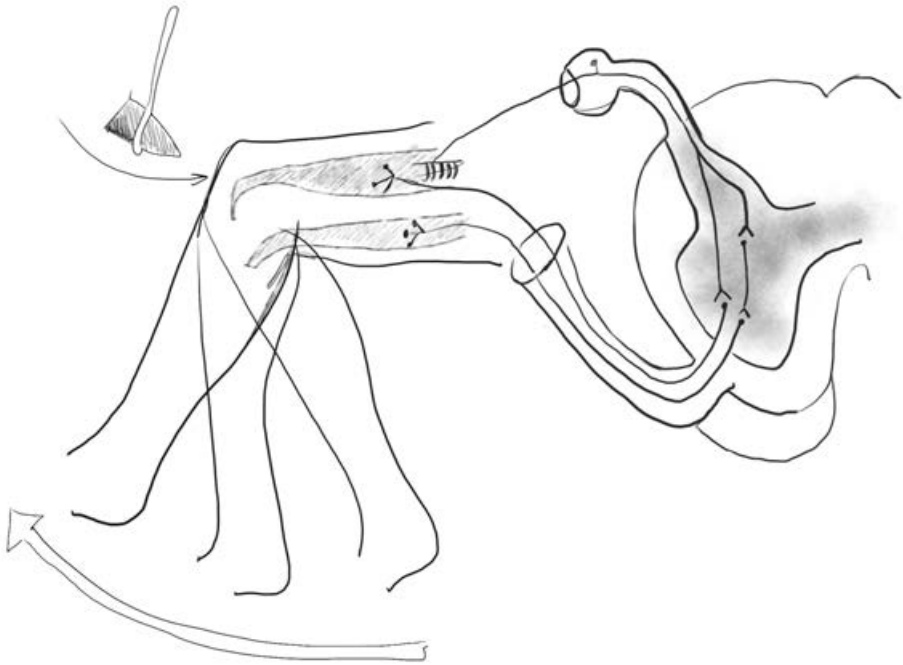


Figura 1.3. El reflejo rotuliano es un ejemplo de movimiento automático que se genera en la médula de una manera involuntaria, como por ejemplo, el levantar la pierna si te golpean la rótula.

explicar cómo funciona el sistema nervioso desde hace más de cien años. Lo propuso Charles Sherrington, el científico inglés que fundó la electrofisiología y que, por cierto, fue un antepasado científico mío, ya que soy discípulo de su tataranieto Torsten Wiesel, científicamente hablando. Sherrington fue quien descubrió cómo funciona el reflejo rotular de la rodilla, que igual hemos experimentado alguna vez en una consulta médica. Si estamos sentados y relajados, con las piernas cruzadas, al golpear con un martillito justo por debajo de la rótula, el hueso de la rodilla, la pierna se estira de manera automática, refleja, dando un brinco. Esto ocurre porque el golpe debajo de la rótula activa neuronas sensoriales que conectan

con neuronas motoras en la médula, que a su vez contraen los músculos que estiran la pierna. Una simple cadena de neuronas activándose entre sí explica este reflejo. Pues bien, esta idea tan simple, que las neuronas forman arcos reflejos, resulta que tiene una importancia fundamental en la historia de la neurociencia, porque revela que el cerebro puede ser una máquina, con partes y resortes que se activan unos a otros, como un mecanismo de relojería. Sherrington recibió el Premio Nobel por sus investigaciones en 1932.

LA DOCTRINA NEURONAL

Las ideas de Sherrington tenían mucho que ver con lo que estaba haciendo Santiago Ramón y Cajal, que era su contemporáneo y llevaba décadas estudiando la estructura del sistema nervioso con tinciones histológicas, es decir, utilizando colorantes para teñir neuronas en cortes finos de cerebros de animales muertos. Cajal propuso la teoría neuronal, que afirma que la unidad estructural del sistema nervioso la conforman las neuronas individuales. En otras palabras, que el cerebro está compuesto de neuronas individuales, conectadas entre sí. Esta idea le valió a Cajal el Premio Nobel en 1906. Cajal estaba tan convencido de esta teoría que la denominó «doctrina neuronal», algo en lo que hay que creer casi de forma religiosa. El mismo Sherrington amplió esta misma idea desde la anatomía a la fisiología, desde la estructura a la función, y propuso que la unidad funcional del sistema nervioso era también la neurona individual: es decir, cada neurona tiene una identidad individual, con una forma específica, que hace un trabajo concreto y tiene una función independiente.

Sherrington y Ramón y Cajal tenían mucho en común. Los dos proponían la misma idea, que la neurona es la unidad del cerebro, y a los dos les dieron el Premio Nobel por ello. Además, los dos

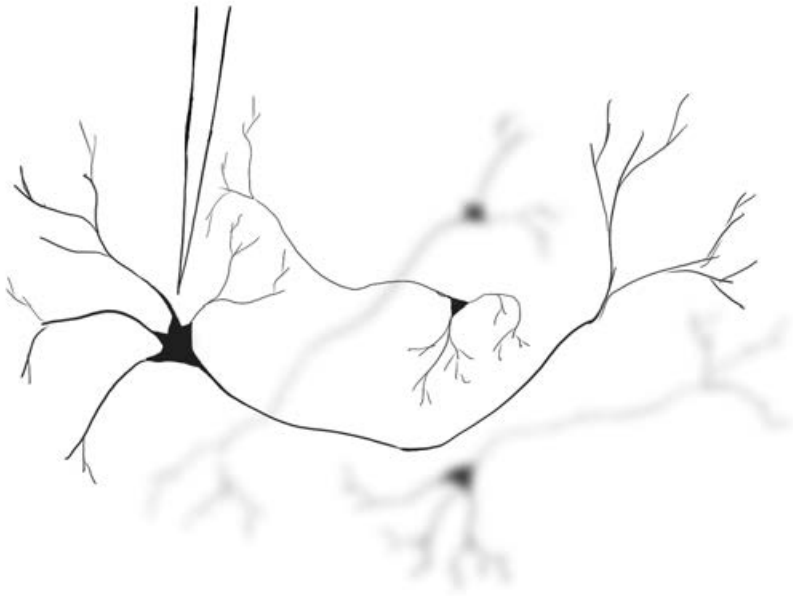


Figura 1.4. La teoría neuronal se basó en métodos tanto con tinciones como electrodos que estudiaban las neuronas de una en una.

eran científicos a quienes les encantaba desarrollar nuevos métodos. Cajal estaba todo el día cacharreando en su laboratorio y, aunque no descubrió el método de Golgi, su truco favorito para teñir neuronas, lo perfeccionó de manera que ha sido utilizado hasta hace relativamente bien poco como el método más importante de neuroanatomía. Confieso que alguna vez yo he hecho también mis pinitos con el método de Golgi, pero mis tinciones no me salían ni de lejos como las de Ramón y Cajal. A Sherrington también le gustaba hacer sus chapucillas con electrónica: inventó el electrodo de tungsteno, con el cual pudo registrar por primera vez la actividad de las neuronas. Tanto Cajal como Sherrington desarrollaron métodos que permitieron estudiar, por primera vez, las neuronas individuales, de manera estructural y funcional. Ramón y Cajal, con tinciones histológicas Golgi, pudo ver mejor

que nadie las neuronas, de una en una, con gran nitidez, y Sherrington, con sus electrodos, pudo, por primera vez, registrar la actividad de neuronas individuales. Sin duda, los métodos que utilizaban justifican las ideas que defendían, pues, si uno se pasa la vida estudiando el cerebro con métodos que analizan neuronas individuales, es muy natural que piense que lo más importante en el cerebro son las neuronas individuales. Como siempre ocurre en ciencia, el abordaje técnico determina en gran medida el abordaje conceptual. Con este enfoque en las neuronas, Ramón y Cajal y Sherrington fundaron la neurobiología moderna, y, en los últimos cien años, prácticamente todo lo que ha ocurrido se puede considerar, en esencia, como una nota a pie de página de sus trabajos e ideas.

LA TEORÍA DE LAS REDES NEURONALES

Pero Cajal y Sherrington tenían también algo más en común. Sabían reconocer el talento de los jóvenes investigadores y tuvieron muy buenos discípulos. Los mejores discípulos son muchas veces quienes hacen precisamente lo contrario de lo que dicen sus maestros. Esto sucedió con dos de ellos. Sherrington tuvo un discípulo llamado Thomas Graham Brown, que era alpinista y abrió muchas vías famosas en los Alpes. Pero, entre escalada y escalada, hacía experimentos demoledores. Graham Brown, que no creía en absoluto que el cerebro fuera una tabla de reflejos, hizo un experimento que desmoronó de golpe todo el castillo de naipes conceptual que había construido su maestro. Utilizando gatos, aisló quirúrgicamente la médula espinal y demostró que en esas condiciones, en las cuales la médula no recibe ninguna información sensorial del exterior, las neuronas de la médula, en vez de apagarse, seguían generando actividad eléctrica como si el animal estuviese andando. Graham Brown concluyó que la médula espinal no es una tabla de

reflejos que solo genera actividad cuando recibe una instrucción externa, como un aporte sensorial, sino que está activa espontáneamente, endógenamente, de una manera intrínseca, y que no depende del exterior. Para explicar cómo la médula espinal podía generar actividad sin *inputs* externos, propuso la existencia de circuitos neuronales conectados entre sí de manera recurrente, como un bucle, y los denominó «generadores centrales de patrones» de actividad neuronal. Esto le daba la vuelta a la tortilla porque, en vez de ser el cerebro una máquina de *input-output*, que está apagada hasta que le mandas un *input* y genera un comportamiento reflejo, tenemos una máquina que está siempre encendida y que, cuando recibe un *input* del exterior, cambia su funcionamiento... o no; incluso puede generar un comportamiento motor, aunque no haya ningún *input*.

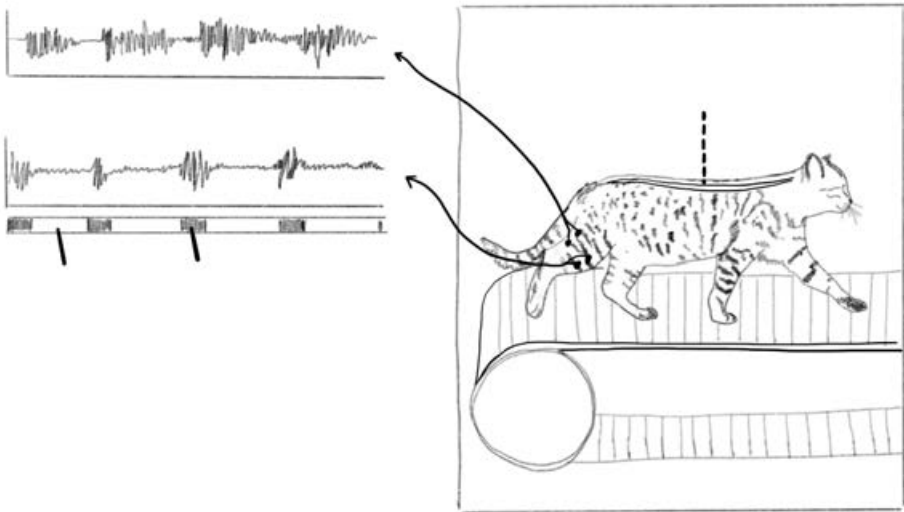


Figura 1.5. Graham Brown estudió la locomoción de los gatos, y descubrió que la médula genera actividad endógenamente.

Mientras Graham Brown ponía patas arriba el laboratorio de Sherrington en Oxford, Cajal tenía otro discípulo brillantísimo y rebelde en Madrid, Rafael Lorente de Nó. En su tesis doctoral, con apenas veinte años, publicó un artículo que invalidaba algunas de las conclusiones de Cajal sobre los tipos celulares de corteza cerebral de los mamíferos. Pero esta no fue la peor travesura que hizo Lorente a su maestro. Más tarde, después de estudiar los circuitos de la corteza cerebral y otras partes del cerebro con muchísimo detalle, propuso que la conectividad de estos circuitos solo se podría explicar si se asumía que las neuronas forman grupos funcionales, que denominó «cadenas»: las neuronas están conectadas entre sí de una manera recurrente, en bucle. Propuso que estas cadenas de neuronas conectadas entre sí funcionarían todas de golpe, como si fuese un grupo funcional.

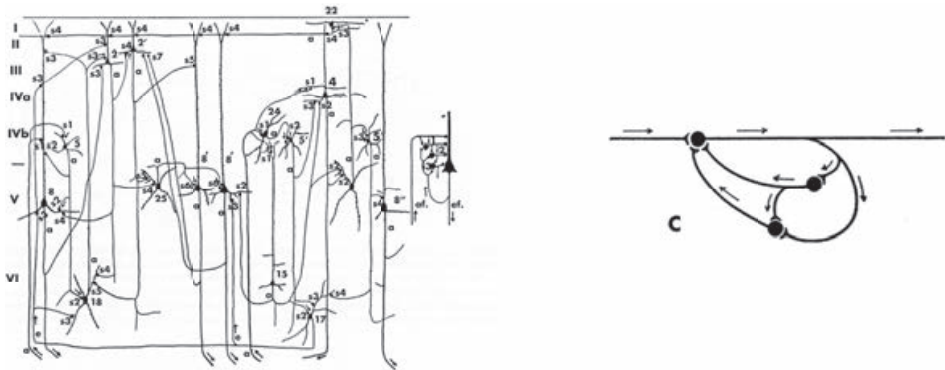


Figura 1.6. Lorente de Nó propuso la idea de que las redes de neuronas se autoestimulan con conexiones entre sí, formando bucles o conjuntos neuronales.

Estas ideas encajaron perfectamente con lo que sugería Graham Brown en Inglaterra. Las cadenas de Lorente eran la contrapartida anatómica de los generadores de patrones funcionales de Graham Brown: se trata de bucles de neuronas. En otras palabras,

ambos propusieron que la unidad funcional del cerebro no era la neurona individual, sino los grupos de neuronas, llamémosles cadenas, generadores o bucles. En términos modernos, a estos grupos los denominamos redes neuronales, es decir, circuitos de neuronas conectadas entre sí, que realizan tareas en común que no pueden realizar individualmente. Es como una cuadrilla formada por trabajadores individuales, pero que conjuntamente forman una unidad. No es que el trabajador individual no importe, pero solo se entiende lo que hace dentro del grupo. Lo mismo sucede con las redes neuronales: las neuronas evidentemente importan porque, si no hay neuronas, no hay red; pero la función es algo que determina la red, no la neurona. Esta es una diferencia fundamental.

Como veremos, Graham Brown y Lorente acertaron de pleno. Sus intuiciones pueden explicar muchos de los resultados que se están obteniendo actualmente en neurociencia, casi un siglo después. Con todos mis respetos a Cajal y a Sherrington, y mi admiración por el trabajo histórico que hicieron, es posible que el enfoque en estudiar las neuronas individuales, de una en una, haya podido retrasar el avance de la neurociencia. En cambio, pensar en redes neuronales no solo ha solucionado muchos problemas pendientes de la neurociencia, sino que ha abierto la puerta a aplicaciones tecnológicas e industriales, incluyendo la inteligencia artificial.

UN CAMBIO DE RUMBO

Esta tensión entre generaciones e ideas es algo común en todas las ramas de la ciencia. En 1962, el filósofo norteamericano Thomas Kuhn propuso que el avance de la ciencia no se debe a la acumulación gradual de conocimientos, sino que se avanza en grandes saltos repentinos, que llamó revoluciones científicas, cuando de golpe se dejan atrás las ideas pasadas y se abrazan ideas y paradigmas

nuevos, una manera distinta de interpretar los mismos datos y pensar sobre el problema. La ciencia es como toda la actividad humana, con contribuciones críticas de grupos de personas que batallan por imponer sus ideas. Esto es exactamente lo que está ocurriendo en neurociencia, donde estamos dejando atrás la doctrina neuronal que hemos utilizado en los últimos cien años para pasar a la teoría de redes neuronales, basada en la actividad de conjuntos de neuronas. Esta nueva teoría puede explicar todo lo que podía explicar la teoría neuronal, y también muchas otras cosas que la teoría neuronal había escondido debajo de la alfombra porque le eran incómodas; como la actividad espontánea de la médula, hallada por Graham Brown, que no se puede explicar si pensamos que el sistema nervioso es una gigantesca tabla de reflejos.

La teoría neuronal tiene también muchos otros problemas escondidos debajo la alfombra, como la falta de precisión en las respuestas a estímulos sensoriales de las neuronas individuales, y el hecho de que las conexiones entre neuronas sean muy flojas y poco fiables, resultados que no encajan bien con la idea de que las neuronas individuales son responsables de las computaciones cerebrales. Pero la existencia de actividad espontánea en el sistema nervioso es posiblemente el mayor de estos problemas, porque desbarata el edificio al generar una montaña de cosas bastante importante debajo de la alfombra, que no se puede ignorar.

En suma

En este capítulo hemos aprendido varias cosas. Por un lado, tenemos ya una idea general de qué es el cerebro, qué partes tiene y qué es lo que hacen, o, más bien, qué creemos que hacen, porque la cosa está aún por descubrir en muchos casos. También hemos aprendido a utilizar la terminología, sabemos que el cerebro es solo una parte del sistema nervioso compuesto también por otras, como la médula espinal, y que está incluido en el sistema nervioso central; asimismo, que hay un sistema nervioso periférico, del que hablaremos más adelante. Pero quizá lo más importante que hemos aprendido en este primer capítulo es la idea de la teoría neuronal o doctrina neuronal, de donde ha salido toda la neurociencia moderna, y que resulta que puede estar equivocada, pues hay otra teoría de redes neuronales según la cual las unidades del cerebro son conjuntos neuronales. La piedra en el camino de la teoría neuronal es la actividad espontánea, y es una piedra bastante gorda, porque todas las partes del sistema nervioso de todos los animales tienen actividad neuronal espontánea. Pero todavía no sabemos muy bien para qué sirve toda esta actividad endógena del cerebro. Posiblemente este sea el quid de la cuestión: que el sistema nervioso podría haber sido diseñado por la naturaleza para la generación de esta actividad espontánea, que puede ser utilizada por el animal para hacer algo. Pero ¿para hacer qué exactamente? Esto tiene que ver con el título del libro, *El teatro del mundo*, que exploraremos en el próximo capítulo. Es una hipótesis que desarrollaremos a continuación, y que se dirige al centro de la cuestión: ¿cuál es la función del cerebro?