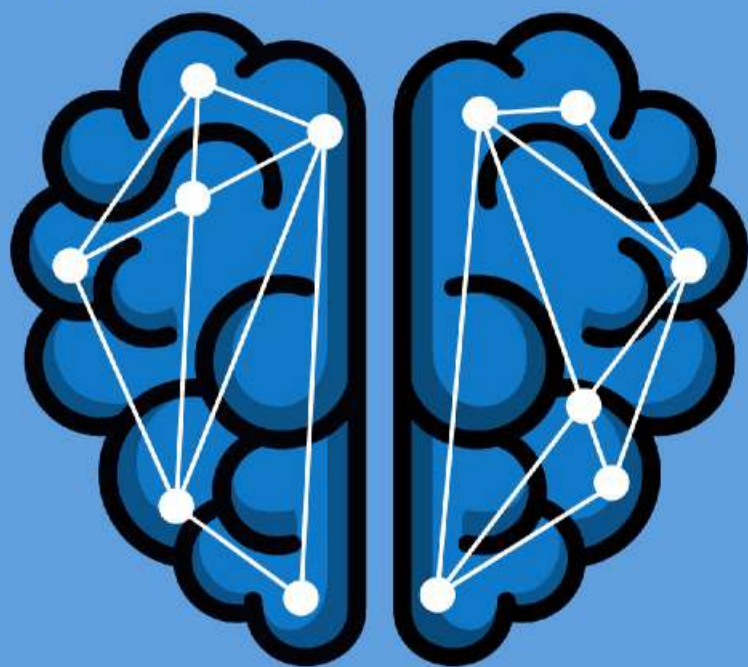


GREG GAGE - TIM MARZULLO

CÓMO
FUNCIONA TU

CEREBRO



EXPERIMENTOS DE
NEUROCIENCIA PARA TODOS

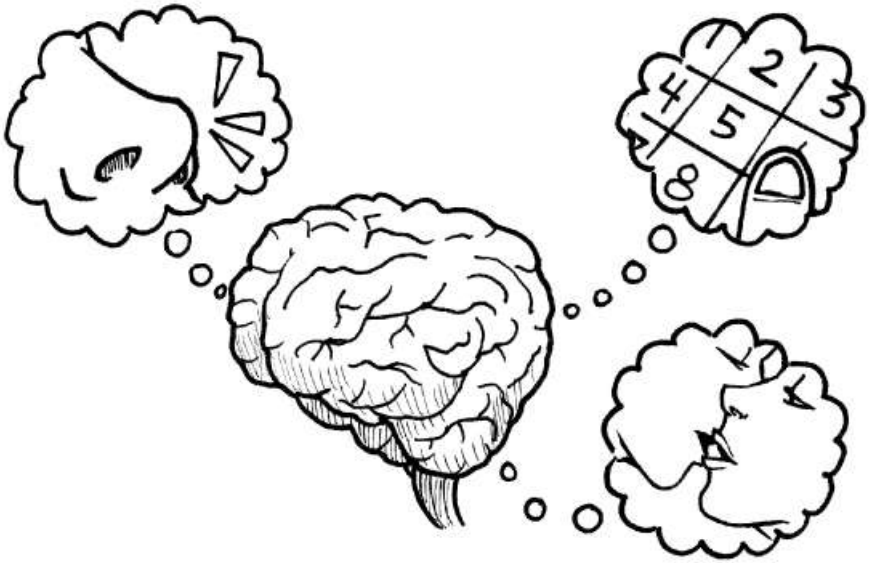
OBERON

1

Introducción

¿POR QUÉ DEDICARNOS A LA NEUROCIENCIA CASERA?

Al respirar veremos cómo nuestro pecho asciende y desciende. Si paseamos y hace calor nos pondremos a sudar. Al mover nuestro brazos y piernas sentiremos cómo los músculos se contraen bajo nuestra piel. Si nos acercamos a alguien que nos gusta, notamos cómo nuestro pulso se acelera con la excitación. Somos capaces de recordar el olor del sótano de la casa de nuestra abuela, la sensación de nuestro primer beso y la dirección de nuestra casa. Todas estas maravillas son posibles gracias a ese increíble órgano que se aloja dentro de nuestra cabeza y que se llama cerebro. Y sin embargo, llegar a comprender el funcionamiento del cerebro sigue siendo uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la ciencia.

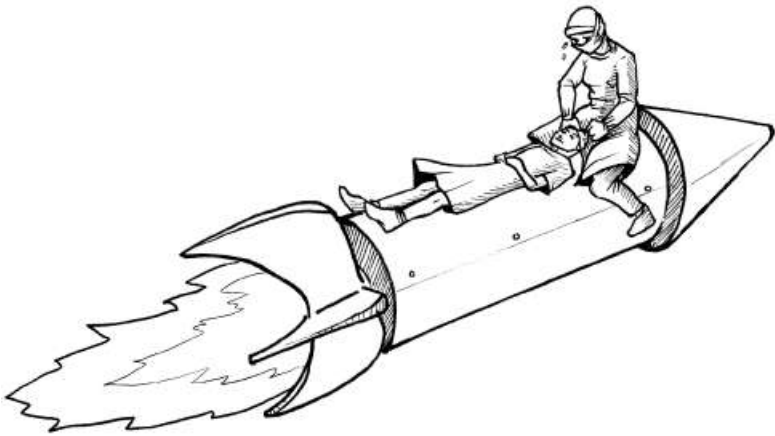


¿Cómo se produce el proceso del pensamiento? ¿Cómo dice el cerebro al cuerpo que debe moverse? ¿Cómo le cuenta el cuerpo al cerebro lo que percibe a través de sus distintos sentidos? ¿Cómo recordamos? ¿Por qué soñamos? ¿Cómo logramos estar conscientes y ser conscientes de lo que somos? ¿Cómo aprendemos? Estas cuestiones han preocupado a los más grandes sabios desde los albores de la civilización, resultando en el desarrollo de un campo científico específico: la neurociencia. El último siglo y medio ha supuesto un gran avance en la comprensión del funcionamiento del cerebro. Sin embargo, estos avances no tienen demasiada repercusión más allá del ámbito de los especialistas. A diferencia de otras áreas científicas como pueden ser la geología, la biología, la física o la astronomía, la neurociencia no suele incluirse en el currículum educativo hasta bien entrada la universidad.

Espera... ¡es que la neurociencia es muy complicada!

Tiende a pensarse que la neurociencia es una disciplina demasiado compleja o amplia como para ser estudiada en el bachillerato y tampoco parece fácil convertirse en autodidacta en esta materia. Cuando usamos frases como «es un cerebritito» o «de mayor trabajará en la NASA» se asume que la capacidad del cerebro está relacionada con el desarrollo de actividades complejas desde el punto de vista cognitivo.

Se da por hecho, así, que solo unos pocos elegidos pueden afrontar el estudio de los asuntos relacionados con la neurociencia y solo es posible hacerlo en grandes y prestigiosas universidades. Algunas otras frases también vinculan el cerebro con situaciones de riesgo, como ocurre al referirnos a la dificultad de una cirugía cerebral o a los cohetes espaciales que diseñan esos ingenieros tan inteligentes: la cirugía puede salir mal y el cohete puede estallar. Por tanto, puede que no sorprenda tanto que el hecho de que la neurociencia no se enseñe hasta llegar a la universidad y que los experimentos con cerebros *in vivo* no se realicen más que en centros de investigación serios y prestigiosos.

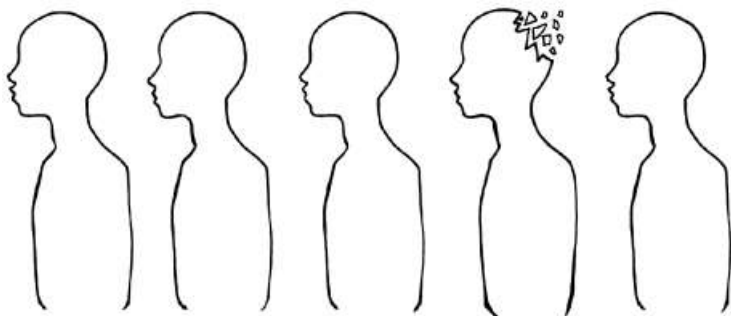


Sin embargo, también es factible pensar que la complejidad del cerebro no sea la responsable de que la neurociencia no tenga hueco en las clases de nuestros colegios y sí lo sea la carestía de las herramientas necesarias para poder investigar en este campo. Hay pocos investigadores neurocientíficos y la demanda de instrumental es limitada, por lo que los fabricantes deben aumentar su margen por unidad si quieren sobrevivir produciéndolos. Los grandes científicos y los centros de investigación punteros no se ven afectados por este problema ya que cuentan con presupuesto y ayudas, pero los institutos y los centros de formación profesional no logran costear este tipo de equipos.

La creciente necesidad de proporcionar una educación neurocientífica

Aunque se han logrado grandes avances en la comprensión del funcionamiento del cerebro, seguimos en el medioevo neurocientífico si analizamos este campo de la ciencia en un sentido amplio.

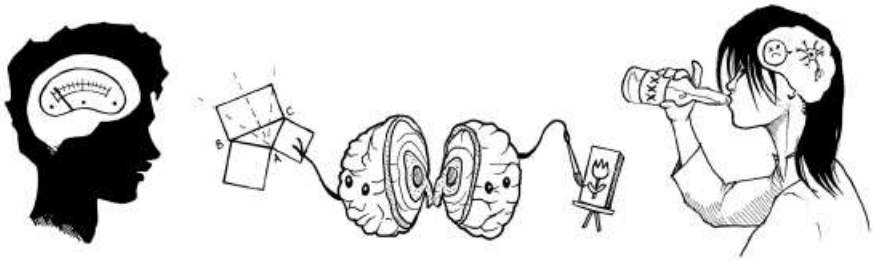
Para empezar no sabemos con exactitud cómo consigue la memoria almacenar recuerdos en el cerebro. La comunidad médica no es capaz de diagnosticar fiablemente un mal como la enfermedad de Alzheimer hasta que disecciona el cerebro de un enfermo en la autopsia. ¿Y qué es exactamente la esquizofrenia? ¿O la depresión? Una de cada cinco personas sufrirá un trastorno cerebral a lo largo de su vida y no contamos de momento con ningún tipo de cura para las enfermedades neurológicas. El acceso a la investigación básica sobre el cerebro es fundamental para remediar esta situación.



Todos queremos saber más cosas sobre el cerebro. Las bibliotecas y librerías de cada ciudad están repletas de títulos sobre neurociencia y psicología. Filósofos, científicos, psicólogos y médicos han escrito un sinnúmero de libros intentando explicar el funcionamiento del cerebro, recurriendo a métodos y teorías cada vez más atractivas para ello. En las portadas de las revistas especializadas suelen aparecer titulares del tipo «los misterios del cerebro al descubierto». Esta fascinación por el cerebro no es más que el resultado de la insaciable curiosidad humana. El cerebro es algo personal, particular y misterioso, además de controlar por completo nuestras vidas. Es tan especial que intenta entenderse a sí mismo.

Desafortunadamente, la falta de una educación adecuada en el campo de la neurociencia deja este ámbito abierto a su explotación superflua. Disciplinas como la neuroeducación, el *neuromarketing* o la neuroeconomía suelen medrar gracias a la falta de conocimientos sobre el funcionamiento del cerebro por parte de la población general. También ha surgido un gran mercado de productos que supuestamente mejoran la salud cerebral: vitaminas, aceites omega o aplicaciones móviles para que nuestros hijos escuchen música clásica. Perduran en la sociedad conceptos erróneos sobre el cerebro y su funcionamiento. Ideas como «solo usamos un 10 por ciento de nuestro cerebro» puede que nos ayuden a trabajar más duro.

Otras como «el alcohol mata las neuronas» pueden incentivaros a beber menos, o bien podemos hacer caso del tópico de que «los crucigramas mantienen joven el cerebro», lo que puede servir para entretenernos y centrar nuestra atención. Sin embargo, ninguna de estas ideas tiene una base neurocientífica. Tampoco existen evidencias de que los diferentes tipos de personalidades tengan que ver con los hemisferios izquierdo o derecho del cerebro. Eso sí, todos estos mitos demuestran que existe un gran interés de fondo en el cerebro y en su influencia sobre nuestro comportamiento.



La revolución neurocientífica está al llegar

El interés que despierta el cerebro y la falta de acceso a equipos de investigación neurocientífica por parte del público en general configuran un panorama asimilable al de los comienzos de la revolución informática. En la década de 1960 había ordenadores, pero eran enormes y muy caros, por lo que solo las grandes empresas, las universidades y los bancos podían permitírselos. Sin embargo, la invención del microprocesador Intel 8080 provocó que los chips se abarataran lo suficiente (con un precio de entre 75 y 300 dólares USA en 1976) como para permitir la aparición del primer ordenador personal: el Altair 8800. Esta fue la chispa que encendió la revolución informática. Pronto nacieron comunidades de apasionados por los ordenadores en cuyo seno surgían y se compartían ideas. Steve Wozniak reconoce que el Apple I surgió del Homebrew Computer Club. El primer producto de Microsoft fue un lector de programación en lenguaje BASIC para el Altair 8800. La aceleración de la innovación informática se desencadenó gracias a la democratización del acceso a los microprocesadores y no ha dejado de avanzar hasta el día de hoy.

La revolución digital o informática ha provocado, como efecto colateral, el desarrollo de componentes electrónicos de bajo coste y herramientas de código abierto (*open source*) que permiten a un grupo más amplio de población el acceso a la investigación neurocientífica. ¿Cómo? Gracias a equipos electrónicos capaces de registrar la actividad eléctrica de las neuronas.

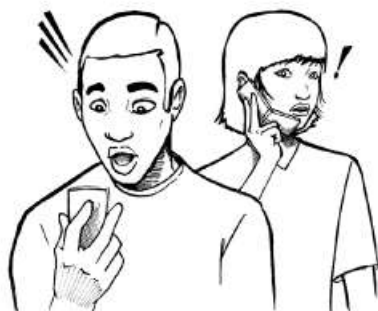
ORDENADORES



Década de 1960

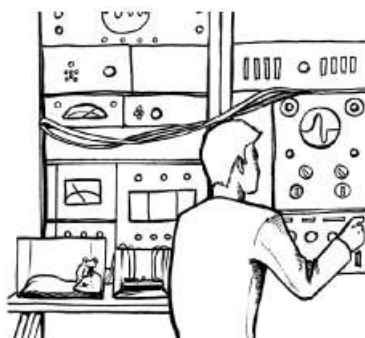


Década de 1970



Década de Los 2000

NEUROCIENCIA



1922



Actualidad



Mi implante de control de la demencia precoz está actualizado y activo!

¡Cada vez los hacen más pequeños! ¡Pronto ni siquiera vas a necesitar cirugía para que te lo implanten!

¿EL FUTURO?

El objetivo de la neurociencia casera o autodidacta es el de replicar la revolución informática y permitir que todas esas personas que no tenían acceso a herramientas de investigación contribuyan significativamente al desarrollo de esta ciencia.

Existen muchos ejemplos de científicos aficionados que han logrado realizar aportaciones valiosas a nuestro conocimiento general de la naturaleza. Al tiempo que aparecían los primeros clubes o asociaciones de astrónomos *amateurs* se multiplicaban los descubrimientos de nuevas nebulosas o cometas en el firmamento. De hecho, el famoso cometa Hale-Bopp fue codescubierto por el astrónomo aficionado Thomas Bopp. El planeta Urano fue descubierto en 1781 por un compositor llamado William Herschel. Muchos acontecimientos estelares, como múltiples choques de asteroides o de planetas contra planetas, no hubieran sido registrados de no ser por todos esos astrónomos aficionados que vigilan el cielo y documentan cada uno de ellos permitiendo su posterior estudio por parte de los científicos.

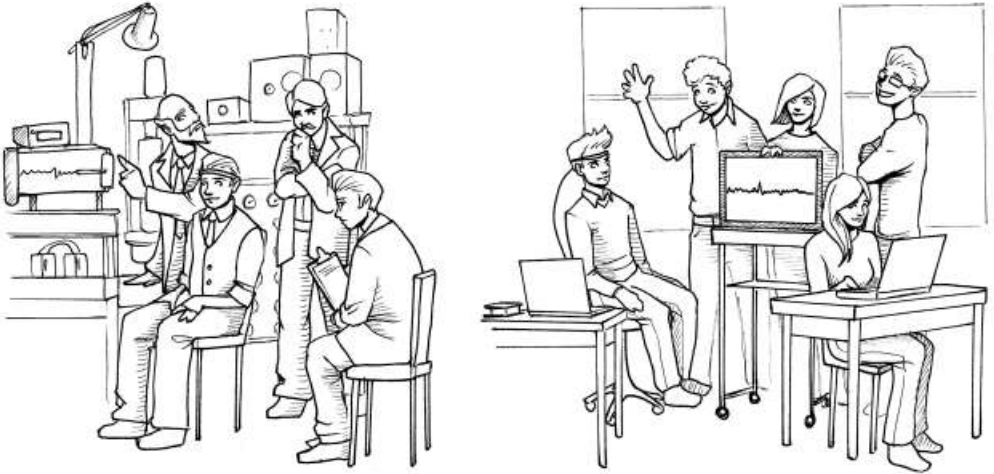


En el campo de las matemáticas, algunas de las demostraciones más elegantes para el cálculo de π —entre otros logros matemáticos— son obra de un aficionado a los números de la India llamado Srinivasa Ramanujan. Por otra parte, los dueños de mascotas han contribuido con sus observaciones a un mejor conocimiento del comportamiento animal. Por ejemplo, la cacatúa Snowball (Bola de nieve) de Irena Schulz permitió descubrir la inducción rítmica (la capacidad para seguir el ritmo de la música) en animales no humanos, mientras que en Alemania el perro Rico demostraba tener la capacidad de clasificar hasta doscientos objetos nuevos y diferentes, logro que se publicó en la revista *Science*.

Una de las cosas que todos estos científicos *amateurs* tienen en común es el acceso a herramientas o instrumentos de bajo coste. Los telescopios, los lapiceros o los animales domésticos no son caros, lo que facilita el proceso de obtención de datos y generación de ideas. Si se lograra democratizar el acceso a las herramientas de investigación neurocientífica lograríamos mejorar el nivel de comprensión global del cerebro.

Por suerte, en el año 2008 apareció una serie de equipos electrónicos de consumo con una tecnología rompedora. Estos equipos revolucionaron el tradicional y caro sistema de desarrollo de herramientas de investigación. El microcontrolador Arduino, inventado por un grupo de ingenieros y artistas, permite a cualquier aficionado controlar con facilidad sistemas mecánicos y electrónicos. Con este elemento se lograron desarrollar inventos como el MakerBot, la primera impresora 3D personal. Ese mismo año Apple lanzaba su plataforma App Store para el iPhone, convirtiendo a este teléfono móvil en un potente ordenador portátil conectado a internet, además de ser programable por parte del usuario. Se disponía, por tanto, de los elementos básicos con los que construir sistemas, y programar y conectar equipos a aplicaciones móviles a través de internet. Estas tecnologías crearon un nuevo tipo de comunidad: el *makerspace*. En ellas se comparten herramientas físicas que permiten la construcción de prototipos de casi cualquier cosa, desde instrumentos musicales a instrumentos científicos.

Estas técnicas autodidactas caseras permiten en la actualidad contar con herramientas de investigación neurocientífica sencillas que sustituyen a los caros equipos de los laboratorios más avanzados. Es posible realizar una gran variedad de experimentos neurocientíficos con instrumentación casera porque la neurociencia es muy grande, pero muy pequeña al mismo tiempo. Podemos centrarnos en la señal eléctrica de una neurona comunicándose con otra en la pata de un insecto o ampliar el espectro y analizar la actividad eléctrica conjunta de miles de millones de neuronas en el cerebro a través de un electroencefalograma (EEG). La neurociencia es una disciplina tan amplia como lo son los intereses de las personas que la estudian. La reunión anual de la Society for Neuroscience (Sociedad de Neurociencia) de EE UU es la mayor conferencia sobre neurociencia del mundo y reúne cada año a 30 000 personas. Puede parecer mucha gente, pero equivale solamente a una pequeña capital de provincia. Con la democratización de las herramientas de investigación y del conocimiento, además de con un planteamiento adecuado de objetivos, sería posible que muchas más personas realicen sus aportaciones en este campo del saber.



Este libro permitirá al lector aprender sobre la investigación en neurociencia y participar activamente en su desarrollo. Pretendemos brindar acceso a aquellas herramientas y técnicas necesarias para orientar al investigador al respecto de las cuestiones que debe plantearse al realizar experimentos neurocientíficos, haciéndole consciente de los límites que impone la tecnología disponible en la actualidad. Debe saber que los equipos que solo estaban a disposición de los laboratorios más avanzados en el pasado están hoy al alcance de cualquier curioso. Los muros se han derrumbado y las cerraduras han saltado. No quedan barreras y el camino está despejado. La neurociencia y el autoconocimiento del cerebro se presentan ante nosotros sin obstáculo alguno.

Cómo utilizar este libro

Este libro es una guía práctica de aprendizaje sobre el cerebro basada en experimentos prácticos que el lector realizará con sus propias manos. Explicaremos los conceptos básicos de la neurociencia, hablaremos un poco de la historia y los orígenes de esos conceptos, y pasaremos a describir una serie de experimentos que **todos** podemos hacer para aprender algo más sobre el cerebro. Esta interacción directa con la neurociencia nos abrirá las puertas a los principios básicos que rigen el funcionamiento del cerebro, destruyendo los mitos que aún lo envuelven.

Quién debería leer este libro

Podemos pensar que a todo el mundo le gustaría saber más sobre el cerebro, pero este libro está dirigido específicamente a ciertos grupos de lectores. Puede que parezca que no tienen mucho que ver entre sí, pero el interés por la neurociencia es lo que les une.



Estudiantes. Si eres estudiante de biología, fisiología o anatomía, lo normal es que en el laboratorio no hayas tenido la oportunidad de realizar demasiados experimentos en el campo de la neurociencia. Este libro complementará tus conocimientos y ampliará tu campo de visión. Es posible que te interese replicar los experimentos que describimos aquí o construir los circuitos electrónicos para profundizar en el conocimiento neurocientífico o de la ingeniería biomédica, respectivamente. Conseguirás «mancharte las botas», saber qué es la neurociencia en la práctica y orientar tus decisiones a la hora de elegir tu futura carrera profesional. Este libro también puede servir como plataforma de desarrollo de proyectos científicos en los últimos años de instituto o para elaborar una tesis durante los estudios universitarios.

Tú decides lo que quieres hacer con los conocimientos adquiridos. Como analogía, pensemos que quieres aprender música. Para empezar puedes comprarte un teclado o una guitarra baratos e intentar aprender a tocar. Este nuevo *hobby* puede quedarse en un entretenimiento o puede convertirse en una verdadera pasión que transforme tu vida hasta el punto de formar una banda de rock con tus amigos. Puede que incluso hagas carrera en el mundo de la música. Independientemente de lo que pase, tu vida será un poco mejor gracias a la música. Nuestro objetivo es conseguir que la neurociencia signifique lo mismo para ti. Este libro puede servir al lector para aprender lo suficiente sobre neurociencia como para convertirse en un ciudadano bien informado, o bien lanzarlo al mundo de los científicos aficionados (como los astrónomos o los jugadores de ajedrez *amateurs*). Podrías llegar incluso a convertirte en médico, neurocientífico profesional o ingeniero biomédico, o las tres cosas, dependiendo de lo ambicioso que seas.



Padres. Si como padre/madre quieres que tus hijos se interesen por la biología, este es tu libro. Es posible que tus hijos no sepan que estudiar los sistemas eléctricos de los seres vivos puede resultar verdaderamente satisfactorio y maravilloso, a la vez que misterioso.

Trabajando con tus hijos en los proyectos que propone este libro puedes orientarles y potenciar sus capacidades científicas. La neurociencia es un campo muy amplio y hay muchas cosas aún por descubrir. Cualquier estudiante puede realizar aportaciones en áreas como la neurobiología de los invertebrados y las universidades siempre valoran positivamente los casos de alumnos con iniciativa propia y capacidad de pensamiento e investigación, especialmente en el ámbito tecnológico. Nuestros contenidos se ajustan a los Estándares de Ciencias de la Próxima Generación (NGSS, por sus siglas en inglés) y al Marco de Biología AP, de forma que tus hijos comenzarán a entender fundamentos científicos avanzados a través de juegos experimentales.

Aprender cosas sobre el cerebro es muy divertido. Y es que tanto niños como adultos tenemos cerebros, por lo que podemos experimentar y aprender juntos. Trabajar en estos proyectos con nuestros hijos puede dejar recuerdos imborrables en su memoria. También en la nuestra o en la de nuestros amigos si trabajamos con ellos. Los niños suelen aferrarse a esa vieja herramienta que utilizaron un día con su padre o con su abuelo, preservándola hasta llegar a adultos e incluso para una siguiente generación.



Almas inquietas. Si te gustan los libros divulgativos sobre ciencia, tanto en sus aspectos teóricos como en los más prácticos, este libro es perfecto para ti. Aprenderás sobre el funcionamiento aplicado del cerebro.

No vamos a perdernos en largas parrafadas descriptivas de estructuras anatómicas o conectivas de las que jamás has oído hablar. Nos centraremos solo en principios básicos para explicar, eso sí, lo último en neurociencia. Mostraremos además cómo se construyen los equipos con los que medir la actividad cerebral, así como el uso de estos instrumentos a través de ilustraciones y analogías sencillas.

Los recursos autodidactas disponibles *online* o en revistas como *Make* también nos han inspirado a lo largo del libro. Proporcionan instrucciones detalladas que permiten reproducir los proyectos realizados por artistas, ingenieros, aficionados y científicos. Hemos aprendido mucho replicando experimentos y queremos abordar la popularización de la neurociencia desde ese mismo enfoque eminentemente práctico que requiere, fundamentalmente, «meterse en harina». Los libros sobre esta materia no suelen hacerlo así. Esta obra permitirá al lector convertirse en un ciudadano bien informado desde el punto de vista biológico. Queremos que dejes de sentirte acobardado la próxima vez que leas un artículo en la prensa sobre un robot o un videojuego controlado a través de las ondas cerebrales. Conocerás de primera mano los límites que se pueden alcanzar con la tecnología disponible para el estudio de la neurociencia y serás capaz de recoger datos científicos. Cuanto mejor conozcamos el cerebro y sus señales biológicas, menos probabilidad habrá de que nos creamos titulares extravagantes. Con nuestra curiosidad y las herramientas adecuadas, podremos responder a muchas de las preguntas que nos planteemos... ¡y contribuir de paso al desarrollo de la neurociencia!



Científicos. Si eres científico profesional y tienes intención de incluir la electrofisiología en tus investigaciones o en un programa educativo, este libro te interesa. Puedes usarlo como obra de referencia. La neurociencia engloba muchas disciplinas y muchas veces no se cuenta con el conocimiento práctico suficiente en todas ellas. Nuestro objetivo es que aquellos que no están familiarizados con la electrofisiología logren llegar a conocerla y aplicarla con naturalidad. Muchos científicos guardan en sus bibliotecas una copia de *The Art of Electronics* (El arte de la electrónica) de Horowitz y Hill o de los *Fundamentos de física* de Halliday, Resnick y Walker, recurriendo a ellos cuando tienen dudas sobre ingeniería o física. Los neurocientíficos suelen tener una copia de la *Biología* de Campbell y Reece como referencia para el estudio de los procesos biológicos. *Principles of Neural Science* (Principios de la ciencia neuronal) de Eric Kandel es una excelente obra de referencia para todo lo relacionado con la neurociencia. ¡La neurociencia es un campo tan amplio que el libro de Kandel pesa más que el cerebro humano! Nuestra intención es la de que este libro sea tu referencia inmediata siempre que tengas una duda en temas relacionados con la electrofisiología o las bioseñales.

¿Qué diferencias hay entre las señales neuronales y las cardíacas? ¿Dónde debemos colocar los electrodos cuando registramos los ritmos cerebrales? ¿Qué diferencia hay entre onda cerebral y potencial evocado? Nuestro libro pretende ayudar a responder estas cuestiones, explicando a lo largo de sus capítulos todos los conceptos básicos con el lenguaje más sencillo y claro posible. En una semana estarás al día en temas de electrofisiología.

Cómo leer este libro

Puedes leer este libro como tú quieras. De principio a fin, si te resulta más fácil, mientras te tomas un café, para ir aprendiendo tranquilamente sobre técnicas de investigación neurocientífica. También puedes ir realizando cada experimento a medida que lees sobre él. Las secciones agrupan las técnicas por grado de complejidad neuronal, comenzando con los que se realizan sobre unas pocas células nerviosas aisladamente hasta llegar a las que analizan el sistema nervioso en su conjunto. Esto no implica que el libro se vaya volviendo más complejo a medida que avanza. Aunque siempre es bueno contar con una base teórica sobre lo que son las neuronas, se puede comenzar directamente con la fisiología de la musculatura humana o el electrocardiograma (ECG). Los principios que se aprenden aplicando un sistema son a menudo reutilizables al aplicar otras técnicas.

Cada capítulo comienza con la descripción de algún fenómeno particular relacionado con la neurociencia. Por ejemplo, se explica cómo pasamos a ser conscientes de los sonidos de fondo –pensemos en el ruido de un frigorífico– únicamente cuando desaparecen, como ocurre al cortarse la electricidad.

En lugar de discutir exhaustivamente sobre los principios teóricos que explicarían el fenómeno, nos lanzamos directamente a lo que interesa: el experimento. Es tu oportunidad para medir cosas reales. Explicaremos cómo preparar los experimentos neurocientíficos para que puedas realizarlos tú mismo. Recogeremos los datos resultantes y los discutiremos juntos. Debe siempre tenerse en cuenta que los datos son datos reales y no brochazos dados por un pintor en un lienzo. Algunos datos pueden estar corrompidos por algún ruido de fondo, otros por un fallo de funcionamiento de los equipos, pero estas cosas pasan tanto en casa como en un laboratorio. Los experimentos nos servirán para ir respondiendo a una serie de interrogantes con el objetivo de formular una teoría explicativa del fenómeno. Hemos conservado los títulos de los experimentos tal y como aparecen en la literatura científica de forma que el lector pueda comparar sus resultados con los obtenidos por otros colegas científicos al realizar esos mismos experimentos. Pero la ciencia no se acaba aquí. Cada capítulo concluye con una serie de preguntas abiertas y experimentos adicionales. Por ejemplo, ¿aumenta el tiempo de reacción con la edad? Aplicamos esta estructura a cada capítulo del libro.

¡Este libro va de experimentar! De ahí que lo hayamos diseñado para que siempre se quede abierto sobre la mesa liberando tus manos para trabajar. Todas las herramientas científicas caseras que se mencionan en el libro pueden adquirirse a través de nuestra organización Backyard Brains, siendo además posible construirlas uno mismo a partir de programas y planos de código abierto. En los apéndices mostramos cómo construir bioamplificadores desde cero a partir de placas de pruebas y amplificadores operacionales (op-amp). También enseñamos a cuidar de nuestras mascotas invertebradas. Independientemente de tu enfoque personal, cuando acabes de leer este libro conocerás y habrás practicado con las principales técnicas avanzadas en neurociencia. Estudiantes entusiasmados por la ciencia, padres con vocación de educar, ciudadanos curiosos, científicos profesionales... este es vuestro punto de entrada a la autopista hacia el conocimiento.