

Luis Aguado

Cuando la mente encontró a su cerebro



Escritos sobre
neurociencia
y psicología

Alianza editorial

LUIS AGUADO

CUANDO LA MENTE ENCONTRÓ A
SU CEREBRO

Escritos sobre neurociencia y psicología

Alianza editorial

Índice

PRÓLOGO

1. ¿QUIÉNES SOMOS? BUSCANDO AL YO EN EL CEREBRO
2. LA EMPATÍA Y LA MENTE SOCIAL: ¿QUÉ REFLEJAN LAS NEURONAS ESPEJO?
3. ENTRE LA RAZÓN Y LA INTUICIÓN: UNA HISTORIA DE DOS HEMISFERIOS
4. PSICOBIOLOGÍA DEL PLACER: DEL BIENESTAR A LA ADICCIÓN
5. MEDITACIÓN: CUANDO BUDA ENCONTRÓ LA NEUROCIENCIA
6. EL CEREBRO QUE APRENDE: EDUCACIÓN, APRENDIZAJE Y DESARROLLO CEREBRAL
7. ¿PODEMOS OLVIDAR LOS MALOS RECUERDOS? POR QUÉ FREUD SE EQUIVOCABA
8. APRENDER DURMIENDO: EL PAPEL DEL SUEÑO EN LA FORMACIÓN DE LA MEMORIA
9. ¿SE PUEDE MANIPULAR EL CEREBRO? DE LA NEUROTECNOLOGÍA AL ESPIONAJE MENTAL
10. ATRAPADOS EN LA RED: LA MENTE EN LA ERA DE INTERNET

REFERENCIAS

CRÉDITOS

*Abramos el reloj que llamamos hombre y, en lugar de definir
audazmente lo que no conocemos, intentemos examinar por
grados lo que queremos conocer.*

Voltaire, *Cartas filosóficas*

PRÓLOGO

Pertenece a una especie verdaderamente singular. A pesar del sorprendente parecido genético entre el hombre y otros animales, de la similar fisiología e incluso de notables coincidencias en conductas y costumbres, los seres humanos mostramos rasgos peculiares que nos diferencian de las demás especies, todos ellos debidos al modo en que funciona nuestro cerebro. Lenguaje, empatía, experiencia consciente, moralidad, razonamiento complejo o una asombrosa capacidad de abstracción son sólo algunas de las abundantes dotes que la evolución ha proporcionado a nuestro cerebro. Pero hay otra capacidad más sin la cual este libro nunca hubiera llegado a escribirse. El hombre es el único animal capaz de volver la vista hacia su propio interior y preguntarse: ¿qué hay ahí dentro? A lo largo de la historia, esta pregunta ha fascinado a filósofos, artistas y científicos, que han tratado de responder a ella echando mano de los recursos que mejor sabían manejar, ya fuese el sólo uso de la lógica y la razón, el despliegue de su intuición y capacidad de penetración en el alma humana, o el método científico y los avances tecnológicos más sofisticados. Por supuesto, la fascinación por el funcionamiento de la mente humana no es privilegio de pensadores o científicos. Aunque en la vida cotidiana no necesitamos hacernos preguntas demasiado sofisticadas sobre cómo funciona nuestra mente, todos desarrollamos pequeñas teorías de andar por casa que sirven razonablemente al fin de entendernos a nosotros mismos y a nuestros congéneres.

El cerebro humano es el producto más sofisticado de la evolución. Como tal, la ciencia del cerebro ha sido, en comparación con disciplinas como la física, la genética o la astronomía, la última en haber experimentado un desarrollo significativo que, sin embargo, aún no nos ha permitido entender aspectos esenciales del funcionamiento de ese complejo órgano. Mucho menos, explicar de modo satisfactorio el modo en que produce esa cosa que llamamos mente. Pero, contra la frecuente afirmación de que «no sabemos casi nada sobre el cerebro», lo cierto es que la investigación en neurociencia ha

avanzado en las últimas décadas como no lo había hecho antes. Un avance que en gran parte se ha debido a la fértil colaboración entre la psicología y la ciencia del cerebro. La unión de la larga tradición teórica y empírica de la psicología moderna con los métodos y conocimientos de la neurociencia ha dado origen al enfoque conocido como «neurociencia cognitiva», una empresa multidisciplinaria encaminada a la difícil meta de explicar cómo la mente surge de la biología. La mente en busca de su cerebro.

El estudio científico de la mente y el cerebro requiere tecnologías y herramientas de análisis cada vez más complejas. Actualmente, psicólogos, psiquiatras, genetistas y biólogos moleculares colaboran en equipos multidisciplinarios con ingenieros, matemáticos, físicos o especialistas en computación. Pero, además, el desarrollo del conocimiento del cerebro ha atraído a especialistas de distintas disciplinas que han vislumbrado las aportaciones que la neurociencia puede hacer al conocimiento de sus objetos de estudio. De la educación a la estética, pasando por la ética, la filosofía o la economía, en los últimos años el mundo intelectual ha vuelto la vista hacia la ciencia del cerebro. Al mismo tiempo, psicólogos y neurocientíficos han comenzado a mirar hacia afuera y prestar atención a los intereses e ideas de otros campos de conocimiento. Nunca como ahora se habían abordado desde una perspectiva científica temas tan variados y que parecían definitivamente destinados al ámbito exclusivo de la especulación o la pura teoría. Cuestiones como la identidad personal, la conciencia, la experiencia emocional, la moralidad o la empatía tienen un lugar principal en la agenda de sociedades científicas y laboratorios de primera línea. Diariamente se publican nuevos datos y teorías cada vez más elaboradas que nos acercan un poco más a una explicación global de la mente que tenga en cuenta al mismo tiempo sus aspectos subjetivos, biológicos y sociales.

El objetivo de la presente obra es ofrecer una aproximación al fascinante mundo de la investigación actual sobre la mente y el cerebro a partir de diez temas seleccionados en función de criterios de novedad, carácter polémico o interés social. Mi intención, ojalá conseguida, ha sido hacer la obra accesible al lector no especializado, aunque sin renunciar a la objetividad, el respeto a los datos y el contraste de teorías dentro de un vasto campo de estudio que se halla en constante evolución. Aunque existe una evidente coherencia entre

todos ellos, cada capítulo puede leerse de forma independiente y no necesariamente en el orden en que figuran. Algunos capítulos tratan cuestiones de fondo que han sido recurrentes en la historia de la psicología y la neurociencia, como la identidad personal (capítulo 1), la mente social (capítulo 2) o la psicobiología del placer (capítulo 4). Otros abordan temas que han sido (y siguen siendo) objeto de polémica dentro y fuera del ámbito científico, como la especialización de los hemisferios cerebrales (capítulo 3) o el destino de los recuerdos traumáticos (capítulo 7). Temas como la meditación y sus posibles usos terapéuticos (capítulo 5), el cerebro y la educación (capítulo 6) o los posibles efectos de las nuevas tecnologías sobre la mente y el cerebro (capítulo 10) han recibido gran atención pública y han sido frecuentemente mal entendidos o presentados de forma poco rigurosa. Finalmente, la posible relación entre el sueño y la memoria (capítulo 8) o el desarrollo de nuevas tecnologías para descifrar el lenguaje del cerebro o alterar su actividad (capítulo 9) son dos ejemplos de los avances derivados de la investigación más reciente y que apuntan a desarrollos futuros que resultan al tiempo fascinantes e inquietantes. En todos los capítulos he tratado de reflejar cuál es el estado actual de la cuestión, cuál es el origen de cada idea y cuáles son los aspectos más dudosos o polémicos. Inevitablemente, mis sesgos y preferencias personales están presentes tanto en la selección de los temas como en la forma de abordarlos. Es seguro que éste será el aspecto más criticable de esta obra. Con todo, espero lograr despertar en el lector el interés por la que, en mi opinión, es una de las aventuras intelectuales más apasionantes que ha emprendido nuestra especie y hacerle compartir mi fascinación por ella. Esa empresa no es otra que la de entendernos a nosotros mismos.

Madrid, enero de 2019

¿QUIÉNES SOMOS? BUSCANDO AL YO EN EL CEREBRO

Sentimos y actuamos hacia algunas de nuestras cosas de igual modo que sentimos y actuamos hacia nosotros mismos. Nuestra reputación, nuestros hijos, las obras que producen nuestras manos, pueden llegar a sernos tan queridas como lo es nuestro propio cuerpo y despertar en nosotros los mismos sentimientos y los mismos actos de represalia cuando son atacadas. Y nuestro propio cuerpo ¿es sólo nuestro o es nosotros mismos?

William James¹

1. El yo y sus partes

Es pleno verano y las calles arden bajo un sol inclemente de mediodía. Empapado en sudor, ando por un barrio desconocido de la ciudad en busca de un bar en el que descansar y beber algo fresco. Contesto a una llamada a mi teléfono móvil mientras esbozo un gesto de disculpa dirigido a una mujer con la que he estado a punto de tropezar. Me siento incómodo porque la llamada es de alguien con quien no me he portado demasiado bien y que quizá va a plantearme quejas y preguntas a las que no sabré cómo responder. Y además tengo prisa. No quiero llegar tarde a una cita importante y antes necesito recomponerme y recobrar fuerzas después de una mañana complicada. En poco menos de un minuto, tengo una intensa experiencia de mí mismo en relación con mi entorno físico y social. Una experiencia que es una intrincada mezcla de reflejos y acciones voluntarias, de sensaciones corporales, pensamientos y afectos que van y vienen. Todo esto me está ocurriendo a mí, yo soy el actor de esta breve secuencia de mi vida, no cabe la menor duda, pero... ¿qué es eso a lo que llamo «mí»? ¿Quién o qué es ese «yo» que experimenta calor, incomodidad o urgencia?

Por suerte, la mayoría de los seres humanos no tienen que hacerse a diario preguntas como las recién mencionadas. Damos por sentado que somos individuos únicos e irrepetibles, sentimos sin formularlo expresamente que en nuestro interior hay algo llamado «yo» o «sí mismo» que valoramos por encima de cualquier otra cosa, una entidad mezcla de subjetividad y biología y cuya experiencia es el escenario permanente sobre el que se desarrolla nuestra vida. Sólo algunas personas, entre las que me cuento, pasan una parte considerable de su tiempo (¡incluso se ganan la vida!) intentando responder extrañas preguntas sobre lo que ocurre realmente en el interior de nuestra cabeza. Pero no somos los únicos. Físicos, astrónomos, biólogos o filósofos son igualmente profesionales de la duda que intentan dar respuestas casi siempre complicadas a preguntas que la mayoría de la gente no necesita plantearse. Gente que ha hecho de indagar en lo que los demás dan por sentado, o simplemente no se plantean, una forma de vida.

Intentemos, pues, indagar en ese «yo» que damos por sentado. ¿Qué es exactamente?, ¿de qué se compone?, ¿podemos encontrarlo en alguna parte del cerebro? Filósofos, psicólogos y, más recientemente, neurocientíficos, hablan del «yo» o del «sí mismo» (*self*, en inglés) para referirse a todo un conjunto de experiencias subjetivas, sensaciones, recuerdos y creencias más o menos explícitas que configuran nuestra identidad personal. Porque eso que llamamos «yo» es, igual que la conciencia, la imaginación o las emociones, una creación de nuestra mente y, en último término, un producto de la actividad de nuestro cerebro. Sin embargo, todos los que han reflexionado sobre ello coinciden en que el yo no se corresponde con una entidad o función mental única y concreta y por eso es poco probable que podamos encontrarlo agazapado en algún lugar del cerebro. Lo que llamamos «yo» es, en realidad, un producto único, particular y privado, resultante de múltiples procesos mentales que, al combinarse, contribuyen a crear la experiencia subjetiva de nuestra individualidad. Una experiencia que se va construyendo en una dinámica continua que sólo se detiene durante el sueño.

Los seres humanos tenemos una conciencia explícita e individual de nuestra existencia². Nos sentimos seres únicos, irrepetibles y diferenciados del resto de nuestros congéneres. Y ese sentimiento va acompañado de una sensación de continuidad temporal que une nuestro presente con nuestro pasado y que nos

permite proyectarnos hacia el futuro. Una continuidad que nos hace sentir que seguimos siendo la misma persona a pesar de los notables cambios físicos y psicológicos que van marcando el paso de nuestra vida. Una conciencia que es, además, unitaria, no fragmentada o compuesta de elementos múltiples. Resumiendo, individualidad (somos seres únicos), continuidad (siempre somos la misma persona) y unidad (nuestra identidad es algo unitario e indivisible) son los tres aspectos esenciales del modo en que nos experimentamos a nosotros mismos.

Si el yo es el producto de la combinación de elementos diversos, ¿cuáles son sus partes? Como ya se ha apuntado, una mezcla de subjetividad y biología. Dicho, sin que sirva de precedente, de modo dualista: un revoltijo de mente y cuerpo. A la construcción mental de la identidad contribuyen nuestros recuerdos personales, la sensación de que somos la causa de nuestros actos y movimientos, la percepción de nuestro cuerpo y de los cambios que en él se producen, la opinión que tenemos sobre nosotros mismos y sobre nuestras capacidades y flaquezas e incluso la idea que tenemos de cómo nos ven los demás. Si quisiéramos dar un nombre más técnico a cada uno de esos elementos hablaríamos de la memoria autobiográfica, del sentido de «agencia», de la imagen corporal y la conciencia interoceptiva, del autoconcepto y de la conciencia de nuestro yo social. Aunque no utilizase exactamente estas mismas palabras, ésta es la forma en que William James, padre intelectual de la psicología moderna, describió el sentido del yo y la identidad personal en su monumental e influyente obra *Principios de Psicología*, un abultado volumen de casi 1.400 páginas publicado en 1890.

Se diría que la experiencia de uno mismo es algo tan privado, tan espiritual e inasible, que difícilmente puede llegar a ser un objeto de estudio válido para ninguna ciencia que se precie. La naturaleza del yo y la identidad personal parecen temas ideales para la reflexión filosófica o la creación literaria y existen sin duda incontables y excelentes ejemplos de su tratamiento a lo largo de la historia de la literatura y la filosofía. Pensadores y filósofos de la talla de René Descartes, Immanuel Kant, Baruch Spinoza o David Hume nos han proporcionado profundas reflexiones sobre ese núcleo central de la naturaleza humana que es la identidad personal. Y escritores como Virginia Woolf, James Joyce o Fernando Pessoa han plasmado en sus obras elaboradas descripciones

del devenir de la conciencia y la experiencia subjetiva. William James dedicó un capítulo de sus *Principios* a reflexionar sobre la naturaleza del yo y lo hizo de manera tan certera que anticipó muchas de las cuestiones que aún ocupan a los investigadores actuales. Resumiendo, James distinguía entre el yo físico o material, constituido por el propio cuerpo, el yo social, referido a la imagen pública de cada individuo, y el yo espiritual o psicológico, es decir, el ser subjetivo con sus facultades mentales, emociones y rasgos de carácter. James no trataba simplemente de solucionar el problema de la identidad personal por el simple recurso de aumentar el número de «yoes». Lo que en realidad propuso es algo similar a lo apuntado más arriba: que el yo que experimentamos como algo indivisible se construye a base del ensamblaje de múltiples procesos. Más concretamente, que esos procesos tienen que ver con tres aspectos fundamentales de nuestra existencia, la experiencia del propio cuerpo, la experiencia de nuestros procesos mentales, cognición y emoción incluidas y, finalmente, la experiencia de nuestra relación con el entorno social.

Algunas de las ideas aparentemente más novedosas de James sobre el yo y la experiencia consciente habían sido ya anticipadas por otros pensadores. Por ejemplo, su énfasis en la contribución de las sensaciones corporales a la experiencia de la identidad personal tiene un claro antecedente en las ideas expuestas por Spinoza en el siglo XVII cuando reflexionaba sobre el modo en que mente y cuerpo se relacionan entre sí. Que tanto James como Spinoza iban por buen camino lo indica el hecho de que sus ideas hayan sido retomadas recientemente por la moderna neurociencia cognitiva, que les ha dado un contenido más preciso y objetivo basado en la ciencia del cerebro. Un notable ejemplo de este desarrollo se encuentra en la obra del neuropsicólogo Antonio Damasio, quien basándose en sus investigaciones con pacientes neurológicos ha propuesto una influyente teoría acerca del modo en que la sensación de nuestro cuerpo contribuye a configurar la vida emocional y la experiencia subjetiva.

2. El cuerpo es lo primero

Cómo el cerebro representa nuestro cuerpo

Mientras estamos despiertos, los órganos sensoriales son continuamente bombardeados por una incesante variedad de estímulos procedentes del exterior que acceden al cerebro y son procesados por sus distintos sistemas perceptivos. Al mismo tiempo, el cerebro está constantemente informado de lo que ocurre en la superficie misma de nuestro cuerpo y en su propio interior. Experimentamos nuestro entorno en el contexto de la experiencia de nuestro propio cuerpo. Y esta experiencia inmediata de nuestro yo corpóreo es posible gracias a distintos tipos de sensores que transmiten al cerebro la información procedente de la superficie de la piel y del interior del organismo.

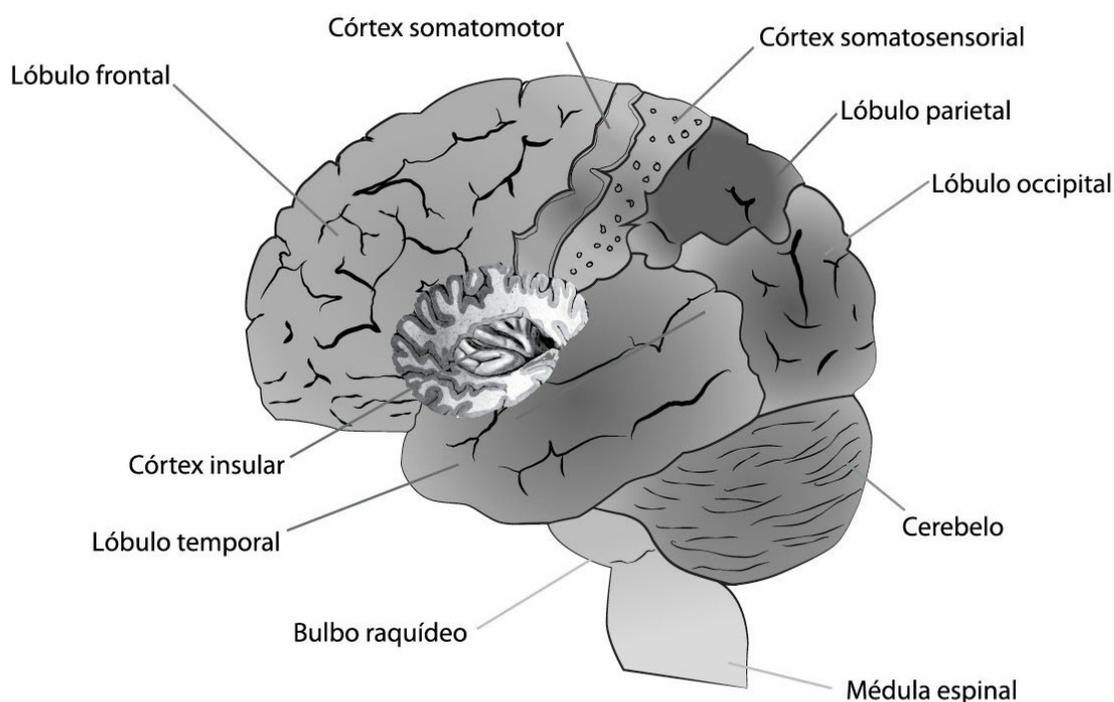
El fluir de la experiencia consciente está hecho de imágenes en constante cambio, representaciones mentales de lo que ocurre fuera y dentro de nuestro cuerpo y que son el resultado de la actividad de los sistemas cerebrales que reciben la información procedente de los sentidos. Gracias a las vías nerviosas que transmiten información desde los órganos sensoriales periféricos a la corteza cerebral, estamos continuamente al tanto de lo que ocurre a nuestro alrededor. Vista, oído, gusto, olfato y tacto son los sentidos tradicionalmente reconocidos, los que nos permiten experimentar sensaciones procedentes del exterior de nuestro cuerpo. Menos conocida es la existencia de otros sistemas sensoriales encargados de informar al cerebro de lo que ocurre en el interior del organismo. Las sensaciones que esos sistemas nos proporcionan reciben el nombre genérico de «interocepción», porque nos permiten literalmente sentir el interior de nuestro cuerpo. Presión sanguínea, tasa cardíaca, excitación sexual, temperatura, concentración de glucosa en la sangre o movimientos digestivos son algunos de los estímulos a los que esos sentidos internos son sensibles. A veces se da a estos cambios internos el nombre genérico de respuestas viscerales, si bien sólo algunos de ellos son producidos por vísceras.

Aunque no llegamos a ser conscientes de muchos de los cambios que continuamente ocurren en nuestro organismo, todos ellos son registrados de algún modo por el cerebro. La función que tradicionalmente se ha atribuido a los sentidos interoceptivos es la de proporcionar al cerebro información acerca del estado del medio interno del organismo con el fin de mantener la

homeostasis, es decir, el estado de equilibrio de una larga serie de variables como los niveles de oxígeno y nutrientes, la concentración de sal o la temperatura corporal. Pero algunos neurocientíficos contemporáneos consideran que los sistemas que informan al cerebro del estado de nuestro cuerpo pueden tener también otra función no menos importante. Esa función es nada menos que la de actuar como fundamento de nuestra experiencia consciente y formar, por tanto, parte esencial de nuestro yo. Una función a la que contribuyen igualmente otros tipos de sensaciones elaboradas a partir de la información proporcionada por sensores localizados en la piel, en los músculos y en los tendones. Una idea que ya anticipó William James, quien en la cita que abre este capítulo se preguntaba si nuestro cuerpo es simplemente nuestro o si en realidad es nosotros mismos.

FIGURA 1

Sistemas cerebrales de procesamiento de la información corporal



© Adaptado de De Jkwchui - Commons File: Cerebrum lobes.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43762805>

Dos regiones cerebrales que intervienen en la sensación del propio cuerpo. La corteza somatosensorial recibe información procedente de la superficie del cuerpo (p. ej., sensaciones táctiles). La corteza insular procesa información procedente de los órganos internos (p. ej., sensaciones viscerales). El lóbulo temporal

aparece abierto para hacer visible la superficie de la corteza insular.

La superficie de nuestro cuerpo está representada como un mapa de parcelas diferenciadas en la corteza somatosensorial, una región cortical situada en la circunvolución post-central, justo tras la cisura o surco central o de Rolando. A través de vías nerviosas que llegan al cerebro desde la médula espinal, la corteza somatosensorial recibe la información procedente de los distintos territorios que forman la superficie del cuerpo. El suave tacto del terciopelo, un cambio brusco de temperatura o el dolor punzante producido por un pinchazo accidental son experimentados gracias a la representación de la superficie de la piel en esa región cortical. La corteza somatosensorial recibe también desde las extremidades la información que nos permite sentir su posición y movimiento, las llamadas sensaciones propioceptivas, basadas en la información proporcionada por sensores localizados en músculos y tendones.

Las sensaciones interoceptivas informan al cerebro de lo que ocurre en el interior del organismo. Estas sensaciones se basan en la información que, procedente de distintos órganos y tejidos internos, arriba a través de distintas vías nerviosas a la región cerebral conocida como ínsula o corteza insular, situada en el interior de la cisura lateral. Sed, falta de aire para respirar, un estómago lleno, frío, alteración del ritmo cardíaco o excitación sexual son algunos de los estímulos que, como se ha dicho, producen un incremento en la actividad de esta región cerebral. Mientras que la corteza somatosensorial contiene el mapa de la superficie del cuerpo, la corteza insular es el lugar en el que se halla representado su interior. Dado su papel en la representación del estado interno de nuestro organismo, no es raro que la corteza insular tenga también un papel crucial en la percepción gustativa y que ejerza el control de las reacciones viscerales de náusea y vómito a alimentos desagradables o potencialmente nocivos.

Apoyándose en los datos de los estudios neurocientíficos, autores actuales como Antonio Damasio o Bud Graig han vuelto a señalar el importante papel de las sensaciones interoceptivas como elemento esencial de nuestra vida consciente y como determinante fundamental de la experiencia de las emociones. Ésta es una idea acorde con el enfoque de la cognición

corporeizada (del inglés *embodied cognition*), muy popular en la neurociencia actual. De acuerdo con este enfoque, sentir una emoción como miedo o tristeza significaría, en gran parte, sentir nuestro cuerpo en un determinado estado. Ritmo cardíaco acelerado, sudoración intensa, respiración entrecortada y tensión muscular son los componentes somáticos usuales del miedo y la ansiedad, un patrón de sensaciones muy distinto al de la tristeza, que va usualmente acompañada de una sensación de laxitud y falta de energía. Desde este punto de vista, la experiencia de una emoción no es algo exclusivamente mental o abstracto. Por el contrario, las emociones implican tanto al cuerpo como a la mente, a lo fisiológico como a lo cognitivo, y es precisamente el componente de experiencia corporal lo que les otorga su especial intensidad subjetiva. Como también afirmaba William James en su célebre artículo sobre la emoción publicado en 1894, si despojásemos a las emociones de sus síntomas orgánicos «todo lo que quedaría sería un estado neutro y frío de percepción intelectual»³.

Hay otro sistema sensorial que es clave para completar la configuración de sensaciones que conforman la experiencia consciente de nuestro cuerpo. Se trata del sistema vestibular, en el que se basa nuestro sentido del equilibrio, la orientación espacial y el movimiento del cuerpo. La corteza vestibular, una colección de redes neuronales localizadas en la región parieto-insular del córtex cerebral, recibe la información procedente de los receptores localizados en el oído interno. La integración de la información proporcionada por el sistema vestibular con la procedente de los sistemas visual y somatosensorial es el fundamento de nuestra sensación como agentes situados en el entorno físico.

El yo y la experiencia del dolor

El modo en que el cerebro gestiona la percepción del dolor proporciona un buen ejemplo de cómo las sensaciones corporales contribuyen a nuestra experiencia consciente. Los especialistas en el estudio de las bases neurológicas del dolor distinguen entre sus componentes sensoriales y afectivos. La sensación de quemazón en los pies al caminar descalzos por la

playa bajo el sol del verano es, en primer lugar, un estímulo físico con unas propiedades objetivas de localización, duración e intensidad. Pero, además, la quemazón se experimenta como algo fuertemente desagradable que nos hace correr a toda prisa para llegar cuanto antes a la arena húmeda. El primero es el componente sensorial del dolor; el segundo, el afectivo. Es este componente de las sensaciones de dolor el que motiva y organiza las conductas de protección de nuestro bien más preciado, el cuerpo. En la corteza cerebral, las áreas somatosensoriales que reciben la información transmitida por los receptores nociceptivos localizados en la piel son las encargadas de analizar las propiedades sensoriales del estímulo. Se ha demostrado que la actividad inducida por los estímulos dolorosos en la corteza somatosensorial es directamente proporcional a su intensidad física. Sin embargo, la actividad en otras regiones corticales, como la ínsula o la corteza cingulada anterior, está correlacionada con su evaluación subjetiva en términos afectivos. Sabemos que esto es así porque los estímulos que el sujeto experimenta como más desagradables evocan una mayor actividad precisamente en esas regiones. Esto indica que existe una clara segregación entre los sistemas neuronales encargados del procesamiento de los aspectos sensoriales y afectivos del dolor. Mientras que la corteza somatosensorial codifica los aspectos objetivos del estímulo nocivo, la actividad neuronal en la ínsula y el córtex cingulado es la responsable de que el dolor se experimente como un estado afectivo negativo.

Un llamativo resultado que pone de manifiesto la disociación entre los aspectos objetivos y subjetivos del dolor se obtuvo en un estudio en el que se manipuló la respuesta afectiva de los sujetos mediante sugestión hipnótica. Los investigadores lograron que, aun manteniendo constante la intensidad objetiva del estímulo, los sujetos lo experimentasen como más o menos doloroso, dependiendo del tipo de sugestión hipnótica. Sugestionar a los sujetos para que experimentasen un dolor más intenso dio origen a un incremento de la actividad neuronal en la región anterior de la corteza cingulada, implicada, como ya sabemos, en los aspectos subjetivos y afectivos del dolor. Sin embargo, la actividad evocada en la corteza somatosensorial no se vio influida por la sugestión hipnótica y mostró una actividad similar en todas las condiciones, lo que indica claramente que esta región cortical codifica las

propiedades físicas y objetivas del estímulo y no sus aspectos afectivos.

Cuando duele el corazón: neurobiología del dolor psicológico

Los sistemas cerebrales de procesamiento del dolor están preparados para reaccionar a las amenazas de la integridad de nuestro yo corpóreo. Algunos estudios recientes sugieren que esos mismos sistemas podrían tener un importante papel en la experiencia del dolor psicológico, es decir, el malestar producido por la amenaza a los aspectos no materiales de nuestro yo. La soledad no deseada, la estigmatización y el rechazo social son condiciones que provocan un intenso sufrimiento a los seres humanos y que pueden llegar a tener efectos devastadores sobre el bienestar psicológico. Sentir nuestra reputación amenazada, herido nuestro orgullo o traicionada nuestra confianza pueden resultar más hirientes que el propio dolor físico. En el lenguaje cotidiano hablamos frecuentemente de «dolor» al describir el sufrimiento que experimentamos cuando nos sentimos traicionados o abandonados. Corazones rotos, sentimientos heridos y vidas hechas pedazos son metáforas usuales para referirnos al intenso malestar que esas experiencias nos producen. Las últimas investigaciones neurocientíficas indican que, lejos de ser casual, el uso de estas metáforas refleja la íntima relación entre los sentimientos de dolor debidos al daño causado a nuestro cuerpo y el dolor psicológico proveniente del daño causado a nuestro yo.

Estudios de neuroimagen funcional⁴ realizados en los últimos años sugieren, en efecto, que el cerebro procesa de modo similar el dolor físico y el dolor psicológico. Dicho de otro modo, que la representación de ambas formas de dolor comparte un mismo substrato neuronal. Según algunos investigadores, el sistema cerebral del dolor se encarga de detectar dentro y fuera de nuestro cuerpo señales potencialmente amenazantes no sólo para nuestra seguridad física, sino también para nuestro bienestar psicológico, con el fin de alertarnos para que les prestemos atención y emprendamos las acciones defensivas necesarias. De acuerdo con esta idea, los resultados de

algunos estudios sobre el efecto de la separación temprana en varias especies animales sugieren ya la estrecha relación entre el dolor físico y el dolor psicológico. Es bien sabido que los fármacos o drogas opiáceas tienen un potente efecto analgésico y como tal se emplean en medicina para paliar los efectos de dolor físico más intenso, como por ejemplo en pacientes que reciben cuidados paliativos. Pero este efecto analgésico no se limita al dolor físico. Son muchos los datos que indican que los opiáceos administrados externamente tienen un potente efecto calmante sobre el malestar psicológico producido por la separación y el abandono social. Por ejemplo, la administración de opiáceos a polluelos recién separados de la madre interrumpe al instante sus llamadas de socorro, una conducta que, igual que el llanto de los bebés humanos, es expresión de un intenso malestar y pretende llamar la atención del adulto para recuperar su cercanía. Basándose en observaciones como esta, algunos investigadores consideran que la selección natural ha aprovechado los sistemas neuronales primitivos de reacción al dolor y el peligro físicos y extendido sus funciones para cubrir también la reacción frente a situaciones de abandono social que ponen en peligro la seguridad del individuo. En los seres humanos, fuertemente dependientes del apoyo mutuo y dotados de unas elaboradas capacidades de autoconciencia y cognición social, ese sistema mediaría también la experiencia del dolor psicológico producido por el rechazo social.

El rechazo social duele. Sentirnos rechazados por una persona a la que estimamos o por un grupo social al que valoramos nos hace sentir mal y reduce nuestra autoestima. Algunos estudios psicológicos han demostrado que esto ocurre aun en situaciones aparentemente intrascendentes, como por ejemplo cuando interactuamos con otras personas en una situación informal de juego. Somos excepcionalmente sensibles a cualquier clave indicativa de desaprobación o rechazo por parte de nuestros semejantes, tanto que el rechazo nos duele incluso si quien nos excluye no es más que un personaje ficticio de un juego de ordenador. Los estudios de neuroimagen indican que la experiencia de la exclusión en situaciones simuladas de laboratorio se refleja en un incremento de la actividad en algunas de las regiones cerebrales que normalmente reaccionan al dolor físico, como la ínsula o la corteza cingulada anterior.

El dolor psicológico activa las regiones corticales implicadas en el procesamiento de los aspectos afectivos del dolor físico, pero no las encargadas del análisis de sus propiedades sensoriales. Sin embargo, algunos datos indican que esta diferencia podría desaparecer cuando el dolor psicológico llega a ser especialmente intenso. Con el fin de investigar esta posibilidad, en un estudio se compararon los efectos del dolor físico y psicológico en un grupo de voluntarios que recientemente habían sufrido una ruptura amorosa no deseada. La principal comparación fue entre ensayos en los que los participantes experimentaban dolor físico (estimulación térmica desagradable en un antebrazo) y otros en los que veían fotografías de sus exparejas mientras recordaban las razones de su ruptura. A diferencia de otros estudios que han empleado situaciones ficticias de exclusión social sin especial relevancia para los participantes, aquí se trataba del recuerdo de situaciones reales de abandono con un poder mucho mayor para provocar intensas reacciones emocionales. Tal como se esperaba, el estudio mostró una notable coincidencia entre las regiones cerebrales activadas por el dolor físico y psicológico, como la ínsula y el cíngulo anterior. Esta coincidencia se extendió a regiones de la corteza somatosensorial secundaria, que aparece sistemáticamente entre las regiones activadas por el dolor físico en numerosos estudios. Es importante señalar que para asegurarse de que los patrones de actividad cerebral observados estaban específicamente relacionados con la experiencia del dolor, fuese físico o psicológico, los investigadores compararon por una parte los efectos de estimulación térmica agradable y desagradable y por otra los efectos de ver fotografías de la expareja o de amigos con los que habían tenido recientemente experiencias positivas. Ni la estimulación térmica de baja intensidad ni la contemplación de fotografías de amigos incrementó la actividad de los sistemas cerebrales del dolor. Sólo el dolor físico y el dolor psicológico lograron hacerlo.

¿Quiere todo esto decir que la experiencia del dolor físico y psicológico son una misma cosa? ¿Que un hueso roto es lo mismo que un «corazón roto»? Desde luego que no. Por una parte, aunque algunos aspectos de la experiencia subjetiva son comunes al dolor físico y al dolor psicológico, la experiencia íntima del dolor psicológico implica también procesos cognitivos y afectivos que no intervienen en la experiencia del dolor físico. Una diferencia

fundamental es que la experiencia del dolor psicológico va usualmente acompañada de la atribución de su causa a un agente que bien puede ser otra persona, como en el caso de una ruptura amorosa, o uno mismo, como cuando el dolor es producido por una intensa sensación de culpa. En segundo lugar, la interpretación exacta de los resultados de los estudios de neuroimagen sobre el dolor psicológico es controvertida. Algunos críticos han señalado, por ejemplo, que la activación de las regiones implicadas en la experiencia del dolor físico y psicológico podría reflejar procesos más cognitivos que afectivos o que dentro de las áreas comunes activadas por el dolor físico y psicológico podría haber sistemas diferenciados para el procesamiento de cada uno de ellos.

3. ¿Cómo sé si este cuerpo es mío?

El cuerpo y la sensación de agencia personal

La experiencia de la identidad personal, ya se ha dicho repetidamente, se basa en gran parte en la conciencia de nuestro propio cuerpo. Y esa conciencia requiere no sólo que sintamos nuestro cuerpo, sino que además lo sintamos como propio. Igual que la sensación de equilibrio o la percepción del entorno que nos rodea son construidas por el cerebro, la sensación de que nuestro cuerpo nos pertenece también lo es. El cerebro construye, por una parte, una representación mental del cuerpo a base del flujo de estimulación procedente de piel, músculos y tendones, combinada con la proporcionada por los sistemas sensoriales internos, que da cuenta del estado fisiológico del organismo. Pero la conciencia del yo corpóreo sólo surge cuando ese variado cúmulo de estímulos se experimenta como procedente de «mi» cuerpo. Nuestro yo más físico, por tanto, es también una construcción mental que resulta de la combinación de materiales muy diversos. El cerebro trabaja constantemente combinando esos materiales para proporcionarnos la sensación de que, como sugería James, somos literalmente nuestro propio cuerpo.

La sensación de que el cuerpo nos pertenece es indispensable para usarlo deliberadamente para interactuar con nuestro entorno. Si siento que mis manos no son mías, ¿qué sentido tendría intentar moverlas? ¡Seguramente no me obedecerían! Y si lo hicieran, podría no estar seguro de que realmente fui yo quien las hizo moverse. Todo esto puede parecer un ejercicio retórico o un galimatías sin sentido... pero no lo es. Cuando alargo la mano para acercarme un objeto próximo o me levanto de la silla para buscar un libro en la biblioteca no sólo experimento mi cuerpo en movimiento, también tengo la sensación de que yo soy el causante de mis acciones. Esto es lo que suele denominarse «sensación de agencia», es decir, la experiencia de que nosotros mismos somos los causantes de nuestras acciones. A pesar de que no nos percatemos de ello, la sensación de agencia es un elemento esencial de nuestra experiencia como individuos autónomos y se basa en último término en la experiencia del cuerpo como algo que nos pertenece.

La mayor parte del tiempo no tenemos una conciencia explícita de nuestro cuerpo y del modo en que se relaciona con nuestro yo mental. Sin embargo, esa sensación está ahí de un modo implícito, actuando las más de las veces como un telón de fondo casi invisible sobre el que se desarrolla nuestra experiencia consciente. Pero sucesos inesperados que provocan una emoción intensa o alteran nuestro espacio personal pueden hacer que la sensación del cuerpo pase repentinamente al primer plano de nuestra conciencia. Imagine el lector que se ve en la desgraciada circunstancia de que por causa de enfermedad o accidente debe someterse a una operación de amputación de una pierna y a la posterior implantación de una prótesis. La adaptación a la nueva extremidad artificial requeriría no sólo aprender a utilizarla de la forma más eficaz, sino también incorporarla poco a poco a la imagen mental de su propio cuerpo. Aun desprovista de sensibilidad, la prótesis se convertiría en una prolongación de su yo corpóreo y quizá finalmente en parte integrante del mismo. Llegado ese momento, ¿dejaría que cualquier desconocido que se siente a su lado en el autobús pusiera la mano en su rodilla ortopédica? Seguramente no. El desconocido ha invadido su intimidad al tocar deliberadamente lo que virtualmente ya forma parte de su cuerpo, algo sólo permitido a las personas más cercanas afectivamente. La percepción de esa invasión trae inmediatamente al primer plano de la conciencia la sensación

de que esa nueva parte de su yo corpóreo le pertenece y está por tanto vedada a los extraños. Para convencernos aún más de la importancia que la sensación de ser propietarios de nuestro cuerpo tiene para la experiencia de la identidad personal, veremos qué es lo que ocurre cuando esa sensación desaparece de forma permanente.

Trastornos de la identidad corporal

Las lesiones de la corteza parietal derecha causadas por tumores o accidentes cerebrovasculares pueden provocar serios trastornos de la imagen corporal y la percepción del propio cuerpo. En estos casos, la normal unidad del yo corpóreo queda parcialmente desintegrada y algunas de sus partes se experimentan como indeseables apéndices colocados en un lugar indebido. Algunos de estos trastornos reciben nombres tan temibles como asomatognosia (no reconocimiento como propio del cuerpo o de una de sus partes) o somatoparafrenia (creencia de que una parte del propio cuerpo pertenece en realidad a otra persona). Los pacientes aquejados de estas raras condiciones creen firmemente que una parte de su cuerpo, generalmente la mano o la pierna contralaterales al hemisferio en que se ha producido la lesión, no les pertenece, llegando a veces a la paradójica conclusión de que en realidad son de otra persona. En su famosa colección de relatos, *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*, el neurólogo Oliver Sacks describe el caso de un joven que estaba convencido de que su pierna izquierda no era suya. El joven actuaba como si su pierna fuese un objeto extraño que alguien había dejado en el sitio equivocado e intentaba tirar de ella para arrancársela. Cuando Sacks intenta convencer al joven de que la pierna es suya la respuesta es bien reveladora: «Le juro por Dios que no... uno ha de reconocer su cuerpo, lo que es suyo y lo que no lo es... pero esta pierna, esta “cosa” —otro estremecimiento de repulsión— no parece una cosa buena, no parece real... y no “parece” parte de mí»⁵. Un caso aún más dramático de trastorno de la identidad corporal es el de una rara condición denominada «trastorno integral de la identidad corporal» en el que el paciente siente un malestar tan insoportable por llevar adosado a su cuerpo un miembro que considera ajeno,

que pide insistentemente que se lo amputen. El malestar es tan intenso que en los contados casos en que los médicos han accedido a realizar la amputación, la calidad de vida y el bienestar psicológico del paciente han mejorado de modo radical.

Las personas que muestran estos peculiares trastornos no han perdido el contacto con la realidad y tienen unas capacidades cognitivas y afectivas perfectamente normales. Tampoco se trata de alucinaciones ni delirios psicóticos. La creencia errónea de que el miembro que no se reconoce como propio pertenece a otra persona es probablemente una forma de encontrar una explicación, por extraña que sea, a una sensación que para el paciente es totalmente real y al mismo tiempo absurda e inexplicable. Algunos estudios han demostrado que las personas con trastornos de la identidad corporal pueden experimentar sensaciones procedentes de los miembros «extraños» y a pesar de ello seguir sintiendo que esos miembros no les pertenecen. No se trata, por tanto, de que el cerebro no reciba la información sensorial necesaria para hacerse una imagen cabal del cuerpo. Lo que parece producirse en estos trastornos es una fragmentación de la imagen o esquema mental que el individuo tiene de su propio cuerpo y que lleva a excluir de ese esquema a una parte del mismo. Investigaciones recientes sugieren que la construcción de ese esquema mental tiene lugar precisamente a partir de la interacción entre las redes neuronales de la corteza parietal, que integran la información visual, somatosensorial y propioceptiva (la procedente de músculos y tendones), y los sistemas frontales implicados en la programación y ejecución de acciones motoras.

Sintiendo como propia una mano ajena

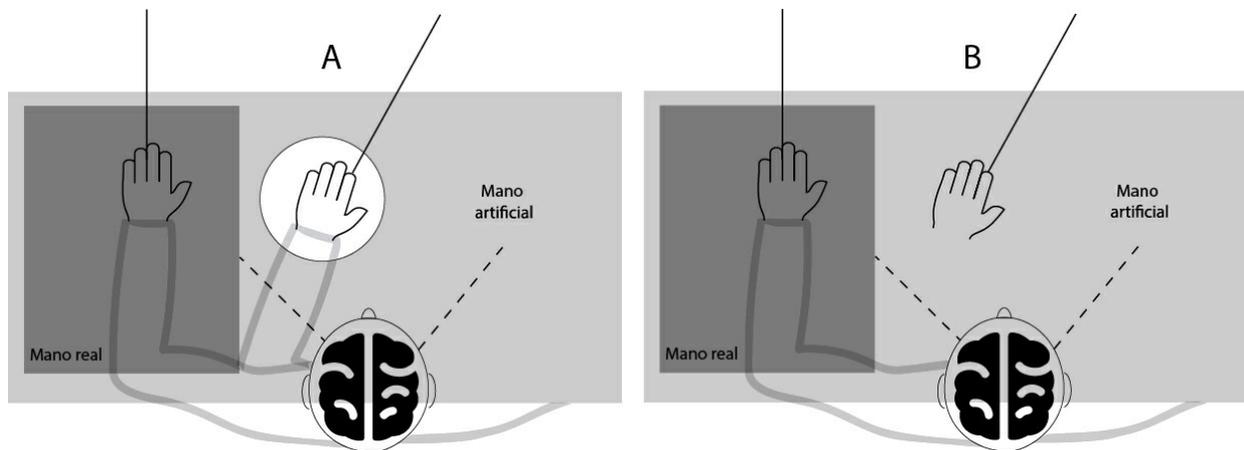
El estudio de casos clínicos que presentan trastornos de la conciencia corporal debidos a alteraciones neurológicas proporciona valiosas claves para comprender el modo en que el cerebro construye la imagen mental de nuestro cuerpo. Sin embargo, el valor de estos estudios es limitado porque no permiten manipular y controlar adecuadamente las variables relevantes. Con el fin de estudiar de forma más precisa los mecanismos de la conciencia

corporal, los investigadores han ideado ingeniosos métodos que pueden aplicarse en personas sanas en condiciones bien controladas de laboratorio. Algunos son muy simples, como el empleado para crear la llamada «ilusión de la mano de goma»; otros altamente sofisticados, como las técnicas de realidad virtual, que permiten generar en los participantes llamativas ilusiones perceptivas que contrastan con el modo en que habitualmente experimentamos nuestro cuerpo. Una manipulación común a todas estas técnicas consiste en jugar con la relación temporal y espacial entre diferentes tipos de información sensorial relativa al cuerpo del participante.

La mencionada ilusión de la mano de goma surge cuando el participante siente que alguien toca una de sus manos oculta a su vista al mismo tiempo que ve cómo se estimula una mano artificial colocada de tal forma que da la impresión de ser suya. La coincidencia temporal de la sensación táctil en la mano real oculta a la vista con la percepción de la mano de goma siendo estimulada hace sentir de forma ilusoria al participante que el miembro artificial es parte de su propio cuerpo. Es más, el participante puede incluso sentir que su mano oculta se ha desplazado hacia el lugar donde se halla la mano de goma. Pequeños cambios en el procedimiento hacen que la ilusión desaparezca. Esto es lo que ocurre, por ejemplo, si la mano artificial se coloca separada del cuerpo del participante, si la estimulación de la mano real y la mano artificial no es simultánea o si la mano artificial es sustituida por cualquier objeto que no tenga la apariencia visual de una mano.

FIGURA 2

Ilusión de la mano de goma



Procedimiento para la inducción de la ilusión de la mano de goma. La mano izquierda del participante está oculta a su vista por una pantalla opaca. La mano real oculta y una mano artificial a la vista del participante son estimuladas simultáneamente con una varilla. La ilusión de sentir la mano artificial como propia surge cuando está adosada al cuerpo del participante (A), no cuando aparece separada sobre la mesa (B).

En el fenómeno de la mano de goma la ilusión de habernos apropiado un miembro extraño es creada a partir de la coincidencia temporal entre dos distintos mensajes sensoriales: la estimulación táctil procedente de la propia mano y la visión de la mano artificial siendo a su vez estimulada. Como ya hemos visto, es precisamente la integración de la información visual, somatosensorial y propioceptiva en la corteza parietal lo que le permite al cerebro construir nuestra imagen corporal. Se ha demostrado que algunas neuronas parietales que responden tanto a estímulos visuales como táctiles y propioceptivos modifican su actividad durante la experiencia con la mano de goma de tal forma que, finalmente, «aprenden» a codificar la posición tanto de la mano real como de la artificial. La coincidencia temporal de los mensajes visuales y somatosensoriales procedentes de la mano artificial y de la propia mano «engaña» al cerebro, acostumbrado a concluir que esos mensajes coincidentes proceden del propio cuerpo. De este modo, la mano ficticia queda temporalmente incorporada al esquema corporal y es experimentada como parte de uno mismo. Sin embargo, algunos investigadores creen que esto no basta para explicar la ilusión de la mano de goma ni, de modo más general, el modo en que el cerebro hace que sintamos que nuestro cuerpo es realmente nuestro. El otro elemento necesario sería la detección de la equivalencia entre lo actualmente percibido y un modelo mental previo de cómo es nuestro

cuerpo. Sólo cuando lo actualmente percibido coincide con ese modelo tenemos la sensación de que el cuerpo que sentimos es el nuestro. Como ya se ha dicho, la ilusión de la mano de goma se desvanece cuando en vez de una mano artificial se estimula cualquier otro objeto, algo que no «parezca» una parte del cuerpo. Cuando esto ocurre, el cerebro detecta una disparidad entre la estimulación actual y su modelo previo del cuerpo y en consecuencia el objeto es sentido como «no yo».

¿Puede la mente separarse del cuerpo? Viajes astrales y realidad virtual

Las modernas técnicas de realidad virtual abren a la investigación psicológica la posibilidad de crear entornos realistas en los que observar conductas y procesos mentales difíciles de reproducir en las condiciones artificiales y usualmente monótonas en que normalmente se llevan a cabo los estudios de laboratorio. El carácter inmersivo de la realidad virtual convierte a estas técnicas en una herramienta ideal para recrear en el laboratorio episodios de intenso realismo. Algunos investigadores han recurrido a ellas para crear en el laboratorio ilusiones que proporcionan importantes claves para comprender el modo en que el cerebro construye la imagen de nuestro cuerpo y nos lo hace sentir como parte de nuestra identidad. De este modo se ha logrado reproducir experimentalmente las llamadas experiencias «autoscópicas» en las que el sujeto ve su propio cuerpo desde una perspectiva exterior.

Condiciones que alteran el funcionamiento normal del cerebro, como fallos cerebrovasculares, crisis epilépticas o el consumo de algunas drogas, pueden dar origen a experiencias extracorpóreas ilusorias en las que el yo mental y el yo corpóreo parecen disociarse. Durante estas experiencias el propio cuerpo es contemplado a distancia desde un plano superior, dándole al sujeto la impresión de que su espíritu flota en el espacio. Es lo que algunas personas especialmente proclives a la fantasía o atraídas por lo paranormal denominan «viajes» o «proyecciones astrales». De acuerdo con las creencias esotéricas y espiritualistas, el supuesto cuerpo astral inmaterial puede abandonar el cuerpo

físico y realizar todo tipo de hazañas viajando a través del universo. En realidad, estos supuestos vuelos del espíritu son completamente ilusorios y se deben a un fallo momentáneo de los procesos a través de los cuales el cerebro crea la sensación de conciencia e identificación con nuestro propio cuerpo.

Mediante técnicas de realidad virtual algunos investigadores han logrado reproducir en condiciones controladas de laboratorio ilusiones muy similares a las experiencias extracorpóreas espontáneas. En uno de los procedimientos empleados, el participante ve a través de unas gafas de vídeo una filmación en tiempo real de sí mismo tomada por una cámara situada tras su espalda. Mientras tanto, el experimentador toca suavemente con una varilla la espalda del participante. Al verse a sí mismo a distancia y sentir simultáneamente estimuladas su propia espalda y la de su imagen virtual, el participante tiene la sensación de contemplar desde fuera su propio cuerpo. Igual que en la ilusión de la mano de goma, esta situación da origen a un conflicto entre la información táctil y propioceptiva procedente del propio cuerpo (sensación de la varilla tocando la espalda más sensación del cuerpo físico en su localización real) y la información visual (el propio cuerpo visto fuera de uno mismo). El predominio de la información visual hace que las sensaciones táctiles y propioceptivas se proyecten sobre la imagen virtual de modo que, finalmente, el participante tiene la impresión de contemplar su cuerpo desplazado en el espacio.

La efectividad de los procedimientos de realidad virtual para inducir experiencias extracorpóreas ilusorias es confirmada por los participantes en este tipo de experimentos. La veracidad de estos informes ha sido corroborada además mediante medidas fisiológicas objetivas como la actividad electrodérmica, producida por la sudoración de las palmas de las manos, un índice bien conocido de activación emocional⁶. Por ejemplo, simular que se golpea con un martillo su imagen virtual hace que el participante muestre un incremento significativo de la respuesta. Es como si el daño aparente infligido a la imagen virtual estuviera siendo sentido por el participante como causado a su propio cuerpo. Pero, de nuevo, esto sólo ocurre si la estimulación del propio cuerpo y de su imagen virtual se han percibido en estricta simultaneidad. Sólo esa simultaneidad crea la ilusión de que uno está contemplando su propio cuerpo situado a unos metros de distancia.

La ilusión de la mano de goma y los trastornos de la identidad corporal como la asomatognosia demuestran que anomalías neurológicas y manipulaciones de laboratorio totalmente inocuas pueden dar origen a la ruptura de la sensación de unidad entre el yo y una parte del cuerpo. Los resultados de los estudios de realidad virtual, igual que las experiencias extracorpóreas en condiciones naturales, nos llevan un paso más allá al demostrar que esas mismas causas pueden dar origen a una ruptura temporal de la unidad entre el yo y el cuerpo experimentado como un todo indiviso. Es preciso reconocer, no obstante, que las demostraciones de laboratorio no llegan a reproducir las experiencias extracorpóreas espontáneas en toda su complejidad, sino sólo algunos de sus aspectos. De acuerdo con la impresión que transmiten los participantes en los estudios de inducción, una diferencia importante es que las ilusiones inducidas en laboratorio no incluyen la intensa sensación de desacoplamiento entre el yo y el cuerpo, un aspecto esencial de las experiencias extracorpóreas debidas a causas neurológicas. Los estudios de casos clínicos han identificado la lesión de una región cerebral situada en el límite entre las cortezas parietal y temporal como causa de las experiencias extracorpóreas completas. Esa región forma parte de la corteza vestibular, de la que dependen las sensaciones de equilibrio, posición y orientación espacial. La alteración de su funcionamiento, debido a causas como infartos cerebrales o crisis epilépticas, resulta en una deficiente integración o falta de correspondencia entre las señales visuales procedentes del espacio extrapersonal y las sensaciones táctiles, propioceptivas y vestibulares originadas en el propio cuerpo. Cuando se produce una discrepancia significativa entre esas señales tiene lugar una alteración de la experiencia consciente en la que se quiebra la usual unidad entre el yo subjetivo y la sensación del yo material.

4. Dejando vagar la mente

Pensando en mí mismo

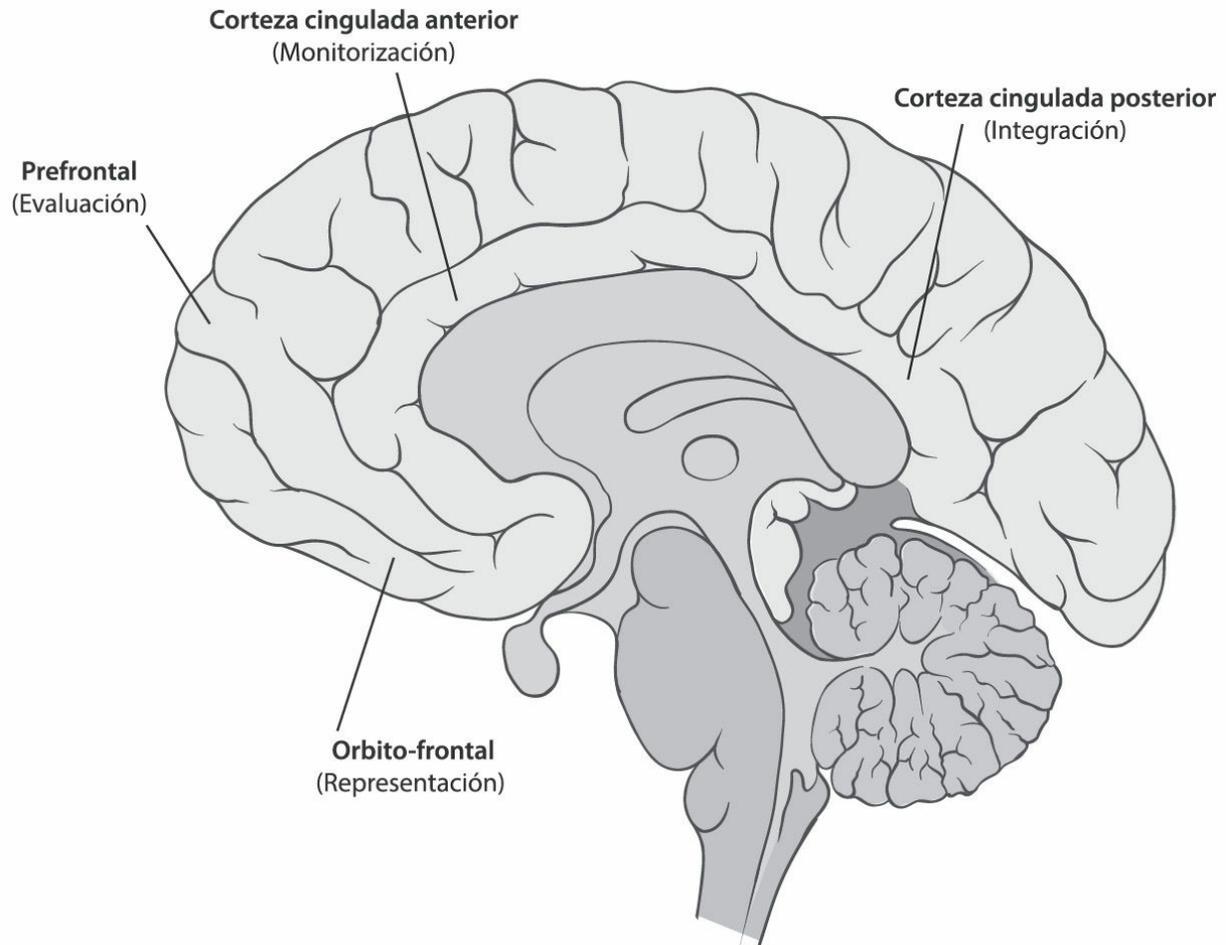
Estudiar el yo en el laboratorio no es tarea fácil. El sentido de nuestro yo psicológico es, por definición, una experiencia subjetiva y privada difícilmente comunicable y que casi siempre tiene lugar en ausencia de cambios observables en la conducta. ¿Cómo estudiar empíricamente un fenómeno mental al que sólo es posible acceder mediante la introspección? El surgimiento y desarrollo del conductismo en la primera mitad del siglo XX se explica precisamente como reacción a las limitaciones de la psicología de la época, basada casi exclusivamente en la aplicación del método introspectivo. Para los conductistas, los informes subjetivos de lo que sucede en nuestra mente, los pensamientos o las emociones, eran «eventos privados» que, debido a su naturaleza inobservable, no podían ser objeto de estudio científico. Aunque el conductismo fue en su momento un movimiento renovador que favoreció el desarrollo de una psicología basada en la observación y el método científico, finalmente se demostró en exceso rígido en su metodología y enormemente limitado en sus objetivos. A consecuencia del rigorismo conductista, el estudio de cuestiones fundamentales para la comprensión del funcionamiento de la mente humana fue abandonado casi por completo o se desarrolló fuera de la corriente principal de la psicología científica. El surgimiento del enfoque cognitivo en la década de los setenta y el más reciente de la neurociencia cognitiva, ayudado por el desarrollo de las técnicas de neuroimagen, volvió a traer al primer plano temas olvidados pero cruciales para una explicación científica de la naturaleza humana. Uno de ellos fue precisamente el del yo y la identidad personal.

Los investigadores interesados en estudiar las bases neuronales y cognitivas de la identidad personal han ideado tareas y situaciones relativamente simples que hagan posible abordar un tema tan complejo de forma objetiva y controlada. Aunque no logren captar toda la riqueza de la experiencia de la identidad personal, estos métodos permiten al menos reproducir en el laboratorio algunos de sus elementos esenciales. Un aspecto fundamental de nuestra experiencia subjetiva tiene que ver con el modo en que evaluamos los sucesos del entorno en relación con nosotros mismos, lo que podríamos llamar la experiencia de implicación personal. Por ello, un método empleado en muchos estudios consiste en pedir a los voluntarios que evalúen una serie de estímulos o situaciones cuidadosamente escogidas en términos de

su relevancia personal. Un procedimiento frecuente consiste en presentar una lista de adjetivos referidos a características personales, como «impulsivo», «insociable» o «sensible» y pedirle al participante que indique hasta qué punto cree que esas palabras le definen. Esta condición se compara con otras en las que el participante debe juzgar en qué medida esos mismos adjetivos son aplicables a otra persona, como el presidente de su país o un actor famoso o si la palabra correspondiente está escrita en mayúsculas o minúsculas. Esta última es una condición de control en la que la atención del sujeto es dirigida hacia la mera forma física de las palabras. Las otras dos condiciones requieren fijarse en su significado y emitir un juicio personal, pero sólo la primera de ellas requiere que el sujeto se juzgue a sí mismo. Podemos hacernos una idea de la diferencia entre estas condiciones si pensamos en la distinta sensación que experimentamos al contemplar una fotografía de nosotros mismos y al ver la fotografía de un extraño. Sólo al vernos retratados a nosotros mismos o a una persona especialmente querida tenemos la íntima sensación de que la imagen de algún modo nos pertenece y es parte de nuestro yo. El procesamiento autorreferente es precisamente esto, juzgar el valor o la relevancia de los estímulos para uno mismo y experimentar una sensación de implicación personal al hacerlo.

FIGURA 3

Estructuras de la línea media cerebral



Representación esquemática de un corte sagital del cerebro, mostrando la superficie medial o cara interna de uno de los hemisferios cerebrales. Se indican las principales regiones de la línea media que intervienen en el procesamiento centrado en uno mismo (procesamiento autorreferente) y sus respectivas funciones.

Los estudios de neuroimagen han demostrado de forma consistente que, en comparación con otras formas de procesamiento no centrado en uno mismo, el procesamiento autorreferente va asociado a la actividad de un conjunto de redes neuronales localizadas a lo largo de la línea media del cerebro, en la cara interna de cada uno de los hemisferios. Por ejemplo, en la tarea de evaluación de adjetivos recién mencionada, la condición de procesamiento autorreferente va asociada selectivamente a un incremento de la actividad en distintas regiones de la línea media, como las cortezas orbital, prefrontal y cingulada. Cada una de estas regiones parecen llevar a cabo funciones diferenciadas, pero complementarias en relación con el procesamiento de la información referida a uno mismo. Mientras que esta información es

representada en la corteza orbital (su actividad aumenta selectivamente ante estímulos personalmente relevantes), la evaluación explícita de esa información requiere la intervención de la corteza prefrontal medial (la actividad en esta zona se incrementa simultáneamente a la emisión de juicios de relevancia personal). Finalmente, la actividad en la región más posterior del córtex cingulado parece estar relacionada con la integración de la información referida a uno mismo con el autoconcepto y la información recuperada de la memoria autobiográfica. Algunos investigadores consideran, en suma, que la actividad complementaria de estas redes neuronales constituye la base neurológica sobre la que se construye la sensación de nuestro yo consciente. De acuerdo con esta hipótesis, las estructuras de la línea media del cerebro permitirían la integración de la información personalmente relevante con los distintos elementos que configuran nuestra sensación de identidad personal gracias a sus interconexiones con los sistemas corticales y subcorticales que procesan la información del entorno y la estimulación procedente del propio cuerpo. Por decirlo de modo resumido, podría decirse que la actividad interactiva de las regiones cerebrales de la línea media constituye el sistema de introspección del cerebro, una función que, como veremos a continuación, va mucho más allá de la contemplación de nuestro propio interior.

¿Qué hace el cerebro cuando la mente no hace nada? La red cerebral por defecto

A finales de la década de los noventa, un grupo de investigadores de la Universidad de Washington hizo un descubrimiento sorprendente. Varios grupos de voluntarios participaron en una serie de pruebas psicológicas en las que debían responder a diferentes estímulos visuales. El protocolo experimental incluía dos tipos de condiciones. En la condición activa, el participante debía realizar tareas de discriminación y búsqueda visual, atención, memoria o lenguaje. Por el contrario, en la condición pasiva el participante simplemente veía el estímulo correspondiente o mantenía la vista

fija en un punto situado en el centro de una pantalla de ordenador. Mediante la técnica PET (tomografía por emisión de positrones) de neuroimagen, los investigadores registraron la actividad cerebral concomitante a la ejecución de cada tarea, esperando encontrar patrones diferenciados y característicos de cada una de ellas. Lo que se encontró fue bien diferente. Por una parte, se observó que todas las tareas daban lugar a un incremento significativo de la actividad del sistema visual, cosa nada sorprendente dada la naturaleza de los estímulos empleados. Más llamativo fue lo que se halló al comparar los patrones de actividad correspondientes a las dos condiciones experimentales. Un rasgo común a todas las tareas fue que en la condición activa se producía sistemáticamente una marcada disminución de la actividad neuronal en un mismo conjunto de regiones cerebrales. La técnica PET reveló una reducción del flujo sanguíneo a estas regiones precisamente cuando los participantes respondían activamente a los estímulos. El resultado era sorprendente, porque lo lógico hubiera sido que al iniciar voluntariamente los sujetos una actividad mental mínimamente exigente se observasen aumentos, y no disminuciones, de la actividad cerebral. Por el contrario, daba la impresión de que, al tener que atender a los estímulos y realizar una tarea concreta, los participantes de las condiciones activas se veían obligados a interrumpir alguna actividad mental que tenía lugar precisamente durante la condición pasiva. ¿Cómo explicar si no que el cerebro mostrase mayor actividad precisamente cuando la mente de los sujetos parecía no estar haciendo nada? En palabras de los propios investigadores, «el incremento de la actividad cerebral durante los ensayos pasivos podría reflejar la presencia de procesos como el libre discurrir de ideas y pensamientos mediados verbalmente y la monitorización del entorno externo, el propio cuerpo y el estado emocional»⁷. Dicho de otro modo, en ausencia de algo concreto que hacer, la mente se volvía sobre sí misma y encontraba esperando a su propietario. No es raro que así ocurriera, ya que algunas de las regiones que mostraban mayor actividad en la condición pasiva se hallaban precisamente en la línea media del cerebro, justo donde acabamos de ver que la actividad neuronal se intensifica durante el procesamiento autorreferente.

Si hay regiones cerebrales que sistemáticamente se desactivan cuando prestamos atención al mundo exterior, ¿qué es entonces lo que hacen cuando

están en funcionamiento?, ¿es su actividad un simple reflejo de las imágenes y pensamientos que surgen de forma aparentemente aleatoria cuando dejamos vagar nuestra mente? No exactamente. Muchos investigadores creen que la actividad de esas regiones cerebrales refleja el modo espontáneo, pero no necesariamente aleatorio, del funcionamiento del cerebro, idea que queda reflejada en el concepto de «red cerebral por defecto». La red por defecto comprende diversas áreas cerebrales interconectadas, localizadas en las zonas mediales y laterales de los lóbulos frontal, temporal y parietal. Un dato que revela la vital importancia de esta red es que recibe mayor aporte de flujo sanguíneo, consume más energía y muestra la tasa metabólica más elevada del cerebro. La actividad coordinada y sincrónica de los distintos componentes de la red por defecto es característica del estado de aparente reposo del cerebro, es decir, el estado en el que, aun estando despiertos y con un nivel de alerta adecuado, no necesitamos prestar especial atención a lo que ocurre a nuestro alrededor. De acuerdo con esto, se observa un incremento de la actividad de la red por defecto en condiciones en las que a los participantes se les dan instrucciones como «mantenga los ojos cerrados, relájese, evite moverse y evite también cualquier actividad mental estructurada como contar o repasar información mentalmente».

Que, a pesar de las instrucciones para no hacer nada, la red cerebral por defecto permanezca activa indica que la mente sigue trabajando por su cuenta. Parece que detener los pensamientos y evitar toda actividad mental, aun cuando nada nos urja a pensar, es una tarea casi imposible. No sólo eso. Aun cuando estemos ocupados en algo concreto la mente no deja de tomarse continuamente pequeños descansos para volar a su capricho. Buena muestra de ello es la observación de que dedicamos entre el 30% y el 50% de nuestro tiempo despiertos a pensamientos que nada tienen que ver con las tareas que nos ocupan en cada momento. Y ello a pesar de algunas pruebas que sugieren que tomarnos con demasiada frecuencia esos respiros mentales y no concentrarnos en lo que estamos haciendo nos hace sentir más infelices. Como reza el título de uno de los escasos pero sugerentes estudios sobre el tema, «una mente que vaga es una mente infeliz». Parece que John Lennon estaba en lo cierto cuando afirmaba en su canción «Beautiful boy» que «la vida es lo que te ocurre mientras estás ocupado pensando en otra cosa».

La red por defecto puede considerarse como el sistema de cognición interna del cerebro. Esto incluye por una parte la introspección, es decir, la reflexión sobre uno mismo y los propios procesos mentales, así como la generación de imágenes e ideas aparentemente aleatorias cuando dejamos vagar la mente libremente. La red por defecto se halla también implicada en un buen número de actividades cognitivas orientadas a objetivos concretos (por ejemplo, recordar una experiencia pasada o hacer un juicio moral) pero que están guiadas internamente y son independientes de la estimulación externa. Las actividades dependientes de la red por defecto implican un cambio del foco atencional desde el exterior hacia el interior, desde la estimulación externa hacia los propios pensamientos y procesos mentales, no sólo para contemplarnos a nosotros mismos sino también para reflexionar sobre el entorno social desde el punto de vista de nuestra propia identidad. De acuerdo con ello, la actividad de la red por defecto suele ir acompañada de la inhibición de las redes neuronales de las que depende la atención concentrada en los estímulos del entorno, como la red fronto-parietal que forma parte del sistema atencional del cerebro o el sistema más amplio denominado red orientada a tareas, que comprende múltiples áreas laterales interconectadas de las cortezas frontal, temporal, parietal y occipital. Dado que la actividad de una de ellas implica la inhibición de la otra, se dice que la red cerebral por defecto y la red orientada a tareas están anticorrelacionadas. La alternancia entre estas redes define dos estados globales del cerebro, dos modos de operación que oscilan entre la introspección y la implicación activa con nuestro entorno.

Los estudios de neuroimagen han demostrado un notable grado de especialización dentro de la red por defecto. Así lo indica el hecho de que distintas tareas experimentales evocan patrones diferenciados de activación y desactivación de los distintos componentes de la red. Por ejemplo, la región dorso-medial de la corteza prefrontal tiende a mostrar mayor activación en situaciones que requieren la reflexión acerca de los procesos mentales de los demás, la facultad conocida como «teoría de la mente». Otras áreas prefrontales de la línea media, junto con la región posterior del córtex cingulado, parecen estar más relacionadas con el procesamiento autorreferente, la reflexión sobre los propios valores y preferencias y la

rememoración deliberada de recuerdos autobiográficos, así como con la simulación mental de posibles sucesos futuros.

Algunos estudios atribuyen a la corteza cingulada posterior un papel central dentro de la red por defecto. Precisamente es esa una de las regiones cerebrales que recibe mayor flujo sanguíneo y que muestra un mayor consumo de energía y una superior tasa metabólica. El cingulado posterior, además, está densamente conectado con múltiples regiones corticales y puede ser considerado como uno de los principales centros de conexión o concentradores (*hubs*, en inglés) del cerebro. Una hipótesis acerca de su función dentro de la red por defecto supone que, a través de sus conexiones, el cingulado posterior tiene acceso a la información sobre los aspectos cognitivos (autoconcepto, memoria autobiográfica) y corporales (esquema corporal e información sobre el estado actual del cuerpo) del yo. Esta información proporcionaría la base para los procesos reflexivos dependientes de los sistemas prefrontales de la red por defecto. Finalmente, la sensación continua y unitaria del yo dependería de la actividad integrada de todos los componentes de la red. Una observación coherente con esta última hipótesis es que las drogas psicodélicas, que producen un efecto subjetivo de despersonalización y disolución del yo, tienen entre sus efectos neurológicos la reducción de la conectividad entre los diferentes componentes de la red por defecto.

Hay datos que indican que un correcto funcionamiento de la red cerebral por defecto podría ser una condición indispensable para la salud mental. Varios trastornos psiquiátricos, neurológicos y degenerativos van asociados a un funcionamiento anómalo de este sistema cerebral. Se ha especulado, por ejemplo, con la posibilidad de que un funcionamiento defectuoso de la red por defecto o de sus conexiones con otros sistemas cerebrales esté en la base del llamado «pensamiento rumiante», el modo de pensar negativo y centrado en uno mismo característico de las personas con trastornos depresivos. Por otra parte, en personas que padecen la enfermedad de Alzheimer se ha observado una reducida actividad neuronal y metabólica en el cingulado posterior. Otra observación relacionada es que la reducción de la conectividad en la red por defecto, que es una tendencia asociada al envejecimiento cerebral normal, es aún mayor en la enfermedad de Alzheimer. Otro trastorno que suele ir

acompañado de anomalías funcionales y estructurales en la red por defecto es la esquizofrenia, aunque en este caso los datos son contradictorios, con estudios que muestran tanto una actividad excesiva como reducida en personas con este diagnóstico. Por otra parte, ni en este caso ni en el de la enfermedad de Alzheimer existen hipótesis claras ni consenso acerca de cuál pueda ser la relación entre el funcionamiento anómalo de la red por defecto y los déficits cognitivos manifestados por los pacientes.

5. La memoria y la identidad personal

La memoria episódica y la biografía personal

El psicólogo Endel Tulving es el responsable de una de las teorías más influyentes sobre la organización de la memoria, basada en la distinción entre dos formas de aprender y recordar dependientes de dos diferentes tipos de memoria: la episódica y la semántica. La memoria episódica es nuestra memoria vivida, la que registra y conserva la información referida a los acontecimientos que hemos experimentado en primera persona. La memoria semántica, en cambio, es el archivo que guarda nuestro conocimiento de la realidad, los datos objetivos sobre las regularidades de nuestro entorno (el cielo nublado suele ir seguido de lluvia, los fines de semana suele haber atascos en la salida de las ciudades...), así como la información que adquirimos a través de la educación formal (los conceptos de «masa» y «energía» o el papel de los Reyes Católicos en la formación del Estado moderno). La información con que trata la memoria semántica tiene validez general y es compartida socialmente. La información de la memoria episódica, en cambio, es privada e individual.

En el capítulo de los *Principios* dedicado al yo, William James nos propone un pequeño experimento mental para hacernos caer en la cuenta de la importancia de la memoria personal en la configuración de nuestra identidad. El experimento consiste simplemente en tratar de responder a esta pregunta: ¿qué sensación experimentaríamos si un día nos despertamos sin recuerdos de

nuestra vida pasada? La respuesta de James fue bien clara, dejaríamos de ser la persona que antes éramos:

Si al despertar un buen día fuésemos incapaces de recordar ninguna de nuestras experiencias pasadas y hubiésemos de aprender de nuevo nuestra autobiografía, o si sólo recordásemos sus hechos de un modo frío y abstracto como cosas que simplemente sabemos que han sucedido [...] sentiríamos y diríamos que somos una persona distinta.

La memoria episódica, la sensación del propio yo y la identidad personal están estrechamente relacionadas. Por una parte, la memoria episódica es una herramienta esencial en la construcción de nuestra identidad. Una de sus funciones más importantes es la de proporcionarnos una sensación de continuidad a lo largo del tiempo, permitiéndonos construir la narrativa vital que conforma nuestra autobiografía. Somos diferentes porque nuestro pasado es diferente. Formamos nuestra identidad personal, el concepto acerca de nosotros mismos, en gran parte, gracias a la narrativa personal que nos proporciona la conciencia de nuestro pasado. En palabras del psicólogo Martin Conway, la memoria es «la base de datos del yo». Pero ¿perderíamos realmente nuestra identidad si perdiésemos el acceso a nuestro pasado? ¿Qué ocurriría si no fuésemos capaces de construirlo momento a momento a través del registro de nuestras experiencias cotidianas? El testimonio de personas amnésicas con problemas de memoria causados por lesiones cerebrales de distinto origen sugiere algunas respuestas a estas preguntas.

Memoria e identidad: lecciones de la amnesia

La amnesia o pérdida de memoria puede manifestarse de diferentes formas. La amnesia retrógrada afecta a la capacidad para recordar sucesos pasados o conocimientos previamente adquiridos. La amnesia anterógrada, en cambio, consiste en la dificultad para formar nuevos recuerdos o adquirir nuevos conocimientos o habilidades. La amnesia rara vez es completa y por lo general afecta de modo diferente a distintos aspectos de la memoria. La amnesia puede, por ejemplo, afectar selectivamente a la memoria episódica, pero dejar relativamente inalterada la memoria semántica o impedir la adquisición de

nuevos conocimientos explícitos sin alterar la capacidad de aprender nuevas destrezas motoras o cognitivas. Finalmente, la amnesia retrógrada puede variar en extensión y cubrir un periodo más o menos amplio del pasado del sujeto.

En contadas ocasiones, la amnesia retrógrada puede ser total y eliminar prácticamente los recuerdos de toda una vida. Este fue el caso de Clive Wearing, un reputado músico británico cuyos problemas de memoria fueron causados por una enfermedad vírica contraída a los cuarenta y siete años y que afectó gravemente a su cerebro. El conocido neurólogo y divulgador Oliver Sacks describió el caso de este desafortunado paciente en un capítulo de su libro «Musicofilia», basándose en el testimonio del propio Clive y de su esposa, Deborah. Además de haber olvidado su pasado, Clive no era capaz de formar nuevos recuerdos. Cada palabra oída, cada nueva sensación, permanecían en su mente sólo durante unos pocos segundos. Mostraba, por tanto, amnesia retrógrada y anterógrada, lo que le forzaba a vivir continuamente en un presente desligado del pasado y sin proyección hacia el futuro. En ausencia de la sensación de continuidad y estabilidad que otorga la memoria del pasado personal y desprovisto de la conciencia del pasado inmediato, Clive era incapaz de imaginarse a sí mismo en otro momento que fuese el presente, incapaz por tanto de proyectar su yo hacia el futuro.

El caso de Clive Wearing revela la perplejidad y la desesperación a las que puede llevar la ruptura de la sensación de continuidad del propio yo, la experiencia de la vida como una colección de instantes inconexos. En palabras de su esposa, Deborah, «cada parpadeo, cada vez que aparta la mirada y la vuelve a posar en algo, lo que contempla a continuación es totalmente nuevo», o de forma aún más dramática: «Clive estaba bajo la constante impresión de que acababa de salir de la inconsciencia porque no tenía prueba alguna de que su mente estuviera despierta antes... es como estar muerto»⁸. En su capítulo sobre este caso, Sacks describe el infructuoso intento de Clive por lograr un cierto sentido de continuidad escribiendo un diario en el que finalmente sólo era capaz de anotar el momento en que se sentía despierto o consciente. El testimonio de otro famoso amnésico, HM, muestra sentimientos semejantes. Comentando su estado, HM reflexionaba así: «Ahora mismo me pregunto, ¿he hecho o dicho algo malo? Ahora lo veo todo muy claro, pero ¿qué ocurrió

hace un momento? Es como despertarse de un sueño, simplemente no recuerdo nada. Cada día, cada alegría, cada pena, existen por sí solos, sin relación con nada más».

Los casos de Clive Wearing y de HM reflejan de forma dramática la ruptura que la amnesia puede producir en la sensación de estabilidad y continuidad temporal característica de la vida despierta. Para la mayoría de nosotros, la experiencia del presente adquiere su sentido en el contexto del pasado inmediato. Si el tiempo pasa sin dejar huella, la continuidad se rompe. Pensemos en el desconcierto que experimentamos si nos levantamos decididamente del sofá para ir a la cocina y al llegar a ella nos damos cuenta de que hemos olvidado qué es lo que íbamos a buscar. El olvido de la intención inicial hace que no comprendamos qué es lo que hacemos allí, como si alguien ajeno hubiera guiado nuestros pasos y hubiese desaparecido de pronto. De acuerdo con el testimonio de pacientes como Clive Wearing y HM, esta perplejidad es la que se experimenta de forma continua cuando se pierde definitivamente la capacidad de construir sobre la marcha una narración que conecte entre sí los sucesivos momentos de nuestra experiencia vital.

En claro contraste con lo dicho hasta aquí, algunos estudios indican que las personas con amnesia retrógrada pueden no manifestar alteraciones importantes en su sentido del yo. Son capaces de pensar y resolver problemas utilizando información referida a sí mismas y conservan en su memoria una buena cantidad de datos autobiográficos. Sin embargo, hay una diferencia sutil con el modo en que una persona sin problemas de memoria concibe su identidad. Una madre con amnesia retrógrada puede ser perfectamente consciente de ser madre, pero no recordar ningún detalle sobre las circunstancias que rodearon el nacimiento de su hijo. O saber que se ha graduado en biología, pero tener serias dificultades para recordar sucesos de su vida de estudiante. El psicólogo Martin Conway, que ha estudiado la relación entre el yo y la memoria, sugiere distinguir entre dos diferentes componentes en la memoria autobiográfica. Uno de ellos sería el propiamente episódico, referido al recuerdo explícito de sucesos personales localizados en el tiempo. El segundo componente tendría un carácter más semántico, incluyendo información relativa a datos genéricos como el nombre, la nacionalidad, la situación familiar, los gustos y preferencias e incluso los

rasgos del propio carácter. Mientras que el componente episódico es el que posibilita la construcción de una narrativa vital con una continuidad que se desarrolla a lo largo del tiempo, el componente semántico sería algo así como el conocimiento objetivo y estable que uno tiene de sí mismo. Según esta teoría, la identidad de una persona a la que la amnesia ha robado una parte sustancial de su pasado se basaría más en el conocimiento de su yo objetivo que en la conciencia de su yo narrativo, dependiente de la memoria episódica. Por el contrario, las personas sin problemas de memoria podrían construir su identidad con una mezcla de historia vital e información objetiva sobre sí mismas.

Memoria, autoconciencia y viajes en el tiempo

Como acabamos de ver, la experiencia de uno mismo como sujeto que tiene una existencia estable y continua en el tiempo está estrechamente relacionada con la capacidad para recordar nuestro propio pasado. Complementariamente, la capacidad para recordar el pasado parece requerir un sentido desarrollado de nuestro propio yo. No es casual, por ello, que el desarrollo y perfeccionamiento de la memoria episódica y autobiográfica durante la infancia vaya en paralelo al surgimiento de un sentido de la propia identidad, que le permite al niño reconocerse como sujeto de sus propios recuerdos.

Podemos recordar datos procedentes de la memoria semántica sin necesidad de ser conscientes de cuándo y en qué circunstancias los adquirimos. ¿Cuándo y cómo aprendimos que la sal es cloruro de sodio o que Venecia es la ciudad de los canales? Sin embargo, no podemos recordar el viaje de las últimas vacaciones de verano, nuestra fiesta de graduación o la muerte de un ser querido sin tener al mismo tiempo conciencia, por aproximada que sea, del momento temporal en que ocurrieron. Al recordar hechos históricos o manejar conceptos técnicos recuperamos de nuestra memoria a largo plazo datos objetivos que son independientes de nuestra experiencia vivida. Son ciertos sin que los hayamos experimentado personalmente. Por el contrario, al recordar un suceso personal lo hacemos desde un punto de vista estrictamente privado. Sensación del tiempo y

sensación de implicación personal van indisolublemente unidas. Cuando rememoro una vivencia propia tengo una clara conciencia de que fui yo quien la experimentó en un determinado momento temporal, algo que evidentemente no ocurre al recordar conceptos técnicos o datos históricos.

Rememorar un suceso personal requiere una especie de viaje mental hacia el pasado, una capacidad para mirar hacia atrás en busca de su localización, aunque sea aproximada, en la línea de nuestro tiempo vital. Esto es lo que Tulving ha definido como «conciencia auto-noética», es decir, la sensación de que el acontecimiento revivido nos pertenece y es parte de nuestro pasado. Al rememorar sucesos personales tenemos la sensación de «recordar que...» (recuerdo que en la fiesta de graduación hacía mucho calor y que el rector se apresuró para acabar su discurso), mientras que al hacer uso de información semántica tenemos la sensación de «saber que...» (sé que Isabel y Fernando lograron contrarrestar el poder de la nobleza y concentraron el poder en la monarquía). En la memoria episódica uno es el actor de sus recuerdos, en la semántica es sólo el espectador o el lector de un texto previamente escrito.

La rememoración de sucesos personales, con su componente de conciencia auto-noética, parece depender de circuitos neuronales diferentes a los que soportan la recuperación de información semántica. Los estudios de neuroimagen indican que el recuerdo de información personal o episódica requiere la interacción entre el hipocampo y redes neuronales localizadas en la corteza prefrontal y en distintas regiones de la corteza parietal. Concretamente, se ha observado un incremento en la actividad de esas redes cuando los sujetos afirman recordar expresamente algún material previamente presentado, en comparación con cuando dicen simplemente «saber» que lo han visto. En el primer caso hay un registro episódico personal (por ejemplo, «recuerdo haber visto esta palabra y que iba escrita en letras rojas»), mientras que en el segundo sólo hay una constatación de que la palabra resulta familiar («sé que esta palabra ha aparecido anteriormente»). Un hecho especialmente significativo es que algunas de las regiones más activas durante la rememoración explícita de sucesos personales forman parte de la red cerebral por defecto. Dado el papel de este sistema cerebral en la actividad mental dirigida hacia uno mismo, su activación en los estudios de memoria episódica confirma la idea de que la rememoración de sucesos personales es, entre otras

cosas, un ejercicio de autoconciencia.

6. Extendiendo los límites del yo

Me he referido hasta aquí a los distintos aspectos del yo que tienen que ver con la experiencia de nuestra identidad corporal y psicológica. Sin embargo, como sugiere la cita de William James que abre este capítulo, a lo largo de la vida llegamos a considerar como parte de nosotros mismos a personas, e incluso a cosas, que nos son especialmente queridas. No sólo eso. La identificación con los valores de nuestra cultura, religión o grupo social de referencia es también parte esencial de nuestro yo. Todos estos elementos forman parte de una especie de yo extendido que supera los límites de nuestro yo individual. Y ello hasta tal punto que la amenaza real o imaginada a valores y símbolos que consideramos como parte intrínseca de nuestro yo puede ser más ofensiva y generar una reacción de defensa aún más intensa y violenta que si sintiésemos amenazada nuestra integridad física.

El amor hacia nuestros semejantes lleva consigo una ampliación de los límites del yo. En efecto, como afirmaba William James, las personas queridas son de algún modo parte de nuestro yo en la medida en que su bienestar físico y psicológico nos importa y nos alegra o duele tanto como el nuestro propio. Esta expansión de los límites del yo alcanza su máxima expresión en el éxtasis amoroso en el que los amantes experimentan una fusión de sus identidades y quizá en esa peculiar variante del amor terrenal que es el éxtasis religioso, en el que el místico dice sentirse identificado con un imaginario ser superior. Amar o sentir compasión por otros equivale a tratarles como si fueran nosotros mismos no sólo en la realidad, sino también dentro de nuestro propio cerebro. En coherencia con esta idea, los estudios de neuroimagen demuestran que el grado de proximidad afectiva con otra persona determina nuestra respuesta empática a su sufrimiento. Contemplar el sufrimiento de un ser querido hace que nuestro cerebro responda de modo similar a como lo haría ante nuestro propio sufrimiento, de modo que literalmente sentimos en nosotros mismos el sufrimiento ajeno (este tema es tratado con más detalle en el Capítulo 2, en el que exploraremos las bases cerebrales de la compasión y

la empatía).

Un curioso fenómeno que ha llamado la atención de economistas y psicólogos sociales recibe el nombre de «efecto de posesión» (del inglés *endowment effect*). El principio psicológico que se deriva de la observación de este efecto es que tendemos a valorar más un determinado bien u objeto simplemente por el hecho de poseerlo. Si a dos grupos de personas se les asigna aleatoriamente la posesión de dos diferentes bienes de valor similar, cada una de ellas será luego más reacia a intercambiar con una persona del otro grupo el bien que inicialmente se le asignó. Este efecto se ha demostrado en estudios en los que se reparten entre distintos grupos de participantes cosas tan simples como jarritas de cerámica o chocolatinas. En uno de ellos, el 86% de las personas a quienes se les había dado inicialmente la jarrita prefirió quedarse con ella antes que cambiarla por una chocolatina con una persona del otro grupo. En cambio, quienes recibieron primero la chocolatina prefirieron conservarla en el 90% de los casos. Que esta fuerte tendencia a defender y conservar nuestras pertenencias se observe con cosas tan insignificantes da idea de la fuerza de los vínculos que podemos llegar a establecer con nuestras posesiones.

Con el paso del tiempo, nuestras posesiones (casa, coche o ropa) quedan asociadas en la mente con nosotros mismos y esa asociación nos lleva a desarrollar con ellas un fuerte vínculo emocional. Desarrollamos un sentido de posesión de las cosas que nos pertenecen igual que desarrollamos la sensación de ser propietarios de nuestro cuerpo. De este modo, las cosas que amamos pasan a formar parte de nuestra identidad y son imbuidas con nuestros propios atributos. Aunque rara vez alcancen la intensidad de las pérdidas personales, el robo o la pérdida de una posesión especialmente valorada son experimentados como un daño infligido a nuestro propio yo. El efecto de posesión se extiende también a bienes intangibles como las ideas, creencias o valores con que nos identificamos y a los símbolos que los representan. Insignias, banderas o imágenes religiosas adquieren, con independencia de su valor material, un estatus especial y una potente carga emotiva debido a su valor de representación. Igual que la pérdida de un objeto valorado se experimenta como una amenaza personal, el cuestionamiento o la crítica a nuestras ideas y creencias o el tratamiento irrespetuoso de los símbolos que

los representan son sentidos como un ataque a nuestro propio yo. Ofender nuestros sentimientos religiosos o patrióticos o cuestionar nuestros valores morales es sentido como un ataque directo a nuestra identidad porque son realmente parte de ella.

La intuición de que las cosas que poseemos y valoramos acaban formando parte de nuestro yo es corroborada por los resultados de algunos estudios recientes de neuroimagen. La mera visión de objetos personalmente relevantes activa estructuras de la línea media cerebral, como la corteza prefrontal medial o el córtex cingulado posterior que, como ya hemos visto, tienen un papel fundamental en el procesamiento autorreferente. Es más, el simple hecho de pensar que un objeto que estamos viendo nos pertenece hace que se incremente la actividad neuronal en esas estructuras cerebrales y que lo haga en proporción directa a la preferencia que posteriormente manifestaremos por ese objeto. Finalmente, nuestro yo acaba incorporando una parte significativa del entorno material y social. Somos, en definitiva, una compleja entidad en la que confluyen lo personal y lo social, lo más íntimo y mental con lo más mundano y material.

¹ James, W. (1890). *Principles of Psychology*, Cap. X, traducción del autor. Hay versión en español: *Principios de Psicología* (1989), México, Fondo de Cultura Económica.

² Si esta capacidad es o no privativa de nuestra especie es una cuestión muy debatida y de difícil resolución. Según algunos neurocientíficos y estudiosos del comportamiento animal, la evidencia actualmente disponible apoya esa posibilidad. Un grupo de expertos reunidos en el año 2012 en Cambridge con motivo de la celebración de un simposio sobre la conciencia firmaron un manifiesto titulado *Declaración de Cambridge sobre la conciencia* en el que se reconocía expresamente la realidad de la existencia de experiencias conscientes en especies distintas del hombre.

³ James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9(34), pp. 188-205. Una traducción al castellano se encuentra en la revista *Estudios de Psicología*, 1985, n.º 21.

⁴ La neuroimagen funcional es un conjunto de técnicas que permiten estimar indirectamente la actividad del cerebro que tiene lugar durante la realización de distintas tareas o que está asociada a diferentes estados mentales. Mediante el uso de los sensores apropiados, cada técnica permite registrar el producto de distintos procesos físicos asociados a la actividad cerebral: cambios de potencial eléctrico (EEG o electroencefalografía), campos magnéticos inducidos por la actividad eléctrica del cerebro (MEG o magnetoencefalografía) o alteraciones del flujo sanguíneo al cerebro (rMF o resonancia magnética funcional —fMRI en inglés—). Mientras que EEG y MEG tienen una alta resolución temporal, en el rango

de milisegundos, la fMRI posee una alta resolución espacial y permite identificar con gran precisión el lugar del cerebro donde se produce la actividad.

⁵ Sacks, O. (2009). *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*, Barcelona, Anagrama (ed. original en inglés, 1985).

⁶ El control nervioso de las glándulas sudoríparas ecrinas, situadas bajo la superficie de la piel, depende de la rama simpática del sistema nervioso autónomo, que controla también la secreción de adrenalina por las glándulas suprarrenales. La activación corporal de origen simpático es característica de las situaciones de excitación emocional y, por ello, la respuesta electrodérmica (la reducción de la resistencia eléctrica de la piel) ha sido usada tradicionalmente en psicología como índice de activación emocional.

⁷ Shulman, G. et al. (1997). *Common blood flow changes across visual tasks: II. Decreases in cerebral cortex*. *Journal of cognitive neuroscience*, 9(5), pp. 648-663.

⁸ Sacks, O. (2009), *Musicofilia*. Barcelona, Anagrama. [Edición original en inglés, 2007].

LA EMPATÍA Y LA MENTE SOCIAL: ¿QUÉ REFLEJAN LAS NEURONAS ESPEJO?

Atticus se puso en pie y anduvo hasta el extremo del porche. Cuando hubo completado el examen de la enredadera regresó hacia mí. En primer lugar, dijo, si sabes aprender una treta sencilla, Scout, convivirás mucho mejor con toda clase de personas. Uno no comprende de veras a una persona hasta que considera las cosas desde su punto de vista... —¿Qué dice, señor?— Hasta que se mete en el pellejo del otro y anda por ahí como si fuera el otro.

Harper Lee, *Matar a un ruiseñor*

1. Ponerse en la piel del otro

En los últimos minutos del partido, cuando aún está por decidir si el equipo local ascenderá en la clasificación, los hinchas vibran con cada movimiento de los jugadores. Algunos incluso tensan los músculos de brazos y piernas como si quisieran alcanzar ellos mismos la pelota. Un joven recoge el bolso que ve deslizarse de las manos de una anciana adormilada en el autobús y lo devuelve suavemente a su regazo. Al percibir la sonrisa de la madre que se acerca para tomarle en sus brazos, el rostro de un bebé se ilumina súbitamente mientras extiende sus brazos hacia ella. Distintos como son, estos ejemplos tienen algo en común. Por una parte, todos ellos ocurren en un contexto social en el que la conducta del actor principal, hincha, joven compasivo o bebé, surge como respuesta a las acciones de otros seres humanos. Más importante aún, para actuar del modo en que lo hacen, todos ellos deben de algún modo comprender el significado del comportamiento del otro, adoptar su perspectiva, sintonizar con su estado interno e inferir sus intenciones. Y hacerlo sin necesidad de reflexión. El hincha se identifica con el delantero que

esquiva a un contrario mientras propulsa el balón hacia su meta. El joven compasivo siente instintivamente la indefensión de la anciana. El bebé capta automáticamente la intención de la madre de cogerlo en sus brazos.

La capacidad de ponerse en la piel del otro y comprender de forma casi refleja el significado de sus acciones es una de las principales herramientas de que dispone nuestra mente para navegar en el complejo mundo de las relaciones sociales. Como afirma Andrew Meltzoff, un conocido experto en comportamiento social y desarrollo infantil, «el fundamento sobre el que se construye la mente social es la percepción de que los otros son como yo»⁹. Conceptos como empatía, teoría de la mente o el más genérico de «cognición social», reflejan el intento de la psicología por identificar y definir los elementos constitutivos de nuestra mente más social. Y como ocurre con otros ámbitos de la indagación psicológica, el estudio de la mente social ha sido también revolucionado por los descubrimientos de la neurociencia.

2. El descubrimiento de las neuronas espejo

A finales de los años ochenta, un grupo de investigadores italianos liderado por el neurólogo Giacomo Rizzolatti se hallaban investigando las bases cerebrales del comportamiento motor de los monos (*macaca nemestrina*) en su laboratorio de la Universidad de Parma. Con este fin, valiéndose de electrodos implantados en el área cerebral conocida como corteza premotora, los investigadores registraron la actividad de distintas neuronas mientras el animal manipulaba diferentes objetos. La corteza premotora es la sección del córtex frontal inmediatamente anterior a la corteza motora y es uno de los múltiples componentes del sistema motor del cerebro, encargado de la planificación, programación y ejecución de acciones y movimientos voluntarios. Los investigadores italianos estaban interesados en conocer el papel de una región concreta de la corteza pre-motora del mono, denominada área F5, en el control de la conducta. Observaron que distintas acciones manipulativas del animal iban acompañadas del incremento selectivo de la respuesta de grupos concretos de neuronas, tal y como indicaba el incremento de su frecuencia de disparo. Dado que diferentes conductas iban acompañadas

de la actividad de distintos grupos de células, podría decirse que cada uno de ellos «codificaba» una acción particular, ya fuera el preciso movimiento de prensión fina requerido para coger un cacahuete o el más burdo de agarrar con la mano un objeto de mayor tamaño. Hasta aquí, nada sorprendente. Sin embargo, los investigadores observaron accidentalmente que las mismas neuronas cuya actividad se incrementaba al ejecutar una determinada conducta aumentaban su tasa de disparo también cuando el animal veía al experimentador realizar una conducta similar. ¡Sorpresa!, neuronas que supuestamente tenían una función exclusivamente motora parecían también ser sensibles a los estímulos visuales, algo completamente inesperado según lo que se conocía acerca de la especialización funcional de las células cerebrales. Regiones del sistema cerebral encargado de la programación y ejecución de acciones motoras demostraban tener también funciones perceptivas. Lo que esta inesperada observación sugería era que esas regiones y las neuronas que las forman podrían desempeñar un papel fundamental en la traducción de la percepción a la acción. El resultado fue publicado por primera vez en 1992 en la revista *Experimental Brain Research*. En un artículo aparecido cuatro años más tarde, los neurólogos italianos dieron a estas neuronas un nombre que pronto haría fortuna. Habían nacido las neuronas espejo.

El área F5 de la corteza premotora del mono incluye zonas de representación de distintos «efectores», es decir, extremidades o partes del cuerpo que empleamos como instrumentos para realizar acciones como agarrar, morder o saltar. Esto quiere decir que distintos grupos de neuronas de esa región cerebral están especializadas en el envío de órdenes motoras a diferentes efectores, como por ejemplo los labios o cada uno de los dedos de la mano. La actividad de cada uno de esos grupos de neuronas da inicio al mensaje que desde la corteza motora y atravesando distintas estaciones de paso llega finalmente a los músculos y produce el movimiento o la acción correspondiente. Lo que demostraron las observaciones de Rizzolatti y sus colaboradores es que esas supuestas zonas de exclusiva representación motora incluían también neuronas con propiedades espejo. Por ejemplo, las neuronas espejo de la zona de representación de la boca se activan durante la realización de movimientos bucales, como masticar o succionar, pero también

cuando el animal ve realizar esas mismas conductas a un congénere o al propio experimentador. Algunas incluso responden a la visión de gestos comunicativos realizados con la boca (el chasquido de labios o *lip smacking*, que es característico de los monos). En el cerebro humano se ha demostrado que un área equivalente al F5 se activa cuando el sujeto ve a un mono realizar esa misma acción y, aún más interesante, cuando intenta leer los labios para entender lo que dice otra persona. Además de en la corteza frontal, el equipo de Rizzolatti descubrió en sus animales la presencia de neuronas espejo en una región de la zona anterior de la corteza parietal denominada área 7b, que no por casualidad envía proyecciones al área F5. El conjunto de áreas frontales y parietales y de las vías que las conectan define el sistema espejo básico del cerebro del mono. Como veremos más adelante, un sistema con similar función y parecida localización neuroanatómica podría también estar presente en el cerebro humano.

El descubrimiento de las neuronas espejo podría haber quedado simplemente como un sugerente hallazgo de interés para científicos especializados. Sin embargo, estudios posteriores realizados tanto con animales como con seres humanos mostraron llamativos resultados que pronto encendieron la imaginación de científicos, divulgadores y público en general. Gran parte de este interés se debe sin duda al papel que muchos científicos, incluidos sus propios descubridores, otorgaron a las neuronas espejo en fenómenos psicológicos tan importantes como la empatía emocional, la imitación, el aprendizaje del lenguaje o la capacidad para comprender de forma intuitiva el sentido e intencionalidad de las acciones de nuestros semejantes. Algunos, como el popular neuropsicólogo Vilayanur Ramachandran, director del Centro de Cerebro y Cognición de la Universidad de California, no ahorraron imaginación al afirmar que el surgimiento de las neuronas espejo en el curso de la evolución había sido «la principal fuerza impulsora tras el “gran salto adelante” de la evolución humana» y que su descubrimiento haría por la psicología «lo que el ADN hizo por la biología: proporcionar un enfoque unitario y ayudar a explicar multitud de capacidades mentales que hasta ahora habían permanecido envueltas en el misterio e inaccesibles a la experimentación»¹⁰. Exageraciones aparte, lo cierto es que la investigación sobre las neuronas espejo ha generado una inmensa cantidad de

datos empíricos y propuestas teóricas, arrojando nueva luz sobre algunas cuestiones de fundamental importancia para comprender la naturaleza y funcionamiento de la mente humana.

3. ¿Por qué tanto ruido?

Un buen investigador no es sólo el que hace buenos descubrimientos sino el que además es capaz de ver más allá de los datos inmediatos y percibir sus implicaciones en campos aparentemente distantes. Al fin y al cabo, uno de los objetivos de la ciencia es explicar el mayor número de fenómenos imaginable mediante el menor número de mecanismos posible. Los descubridores de las neuronas espejo cayeron pronto en la cuenta de que habían dado con un mecanismo neuronal simple que sabiamente aplicado podía dar mucho juego y comenzaron a teorizar sobre las posibles funciones de ese mecanismo no sólo en el cerebro de los monos sino, mucho más importante, en el cerebro humano. Con independencia de lo acertadas que puedan resultar finalmente algunas de estas ideas, lo cierto es que han contribuido a colocar en un puesto prioritario de la agenda científica cuestiones fundamentales que hasta ahora parecían demasiado vagas y «filosóficas» como para ser un objeto adecuado de investigación.

Entiendo lo que haces

Una de las principales funciones atribuidas a las neuronas espejo es la de proporcionar un mecanismo básico para la comprensión rápida e intuitiva de las acciones que vemos realizar a otras personas. Esta comprensión es un requisito indispensable para una interacción fluida y coordinada con los demás. «Comprender» quiere decir aquí captar al instante el sentido y la finalidad de la acción observada, de modo que nuestra conducta se adapte momento a momento al contexto social. Veo a mi compañera de despacho alargar la mano hacia un libro que está a mi alcance y extendiendo la mano para

acercárselo. Me cruzo por la calle con un desconocido que parece dudar en saludarme y comprendo que quizá no está seguro de conocerme y está esperando a que yo dé el primer paso y le salude. A diario y de forma continua la interacción social requiere un constante baile de correspondencias, una coreografía minuciosamente organizada de gestos y acciones recíprocas que se desarrolla de forma fluida y sin necesidad de ensayo ni preparación previa. Con su capacidad para establecer la correspondencia entre percepción y acción las neuronas espejo permiten recrear en nuestro propio cerebro la acción observada, sincronizando así nuestro estado mental con el de la persona que la ejecuta. Una simulación que nos permite percatarnos al instante del sentido de la acción que se desarrolla ante nuestra vista. Al menos esto es lo que dice la teoría más popular sobre la función de las neuronas espejo que, igual que otras teorías sobre la mente y el cerebro, tiene ardientes defensores y contumaces detractores.

Dos observaciones realizadas en estudios con monos proporcionan una buena ilustración del papel de las neuronas espejo en la comprensión de acciones. Imaginemos una acción simple cuya ejecución produce ruido, como por ejemplo rasgar un papel o dejar caer al suelo un objeto pesado. Cuando el animal observa a otro realizar una de esas acciones entran en actividad las neuronas espejo del área F5 que también se activarían si fuese él mismo quien las ejecuta. En realidad, no hace falta que el animal vea nada. Basta con que oiga el sonido del papel al ser rasgado o del objeto al caer al suelo para que esas mismas neuronas aumenten su tasa de disparo. Nos encontramos, por tanto, ante un tipo especial de célula cerebral que tiene a la vez funciones motoras, visuales y auditivas. Esa triple función otorga a estas células una nueva propiedad, que es la de asociar diferentes aspectos de la ejecución de una acción, de forma que percibir uno sólo de ellos (por ejemplo, el ruido del papel al ser rasgado) le permite al animal comprender inmediatamente qué es lo que ocurre. La segunda observación ilustrativa es que las neuronas espejo del área F5 disparan cuando el mono observa una acción que sólo puede ver de forma incompleta. Supongamos que el animal está ya habituado a ver al experimentador alargar su mano para coger un trozo de comida de una bandeja. ¿Qué ocurriría si el experimentador le mostrase de nuevo esa misma acción pero haciendo esta vez que a mitad de trayecto su mano desapareciese

tras una pantalla opaca? Los investigadores italianos que llevaron a cabo este experimento comprobaron que algunas de las neuronas espejo que normalmente incrementaban su tasa de disparo ante la visión de la acción completa seguían haciéndolo en la condición de ocultación. Esto quiere decir que esas células habían aprendido a reconocer la acción ejecutada por el experimentador, de modo que cuando el animal observaba sus primeros movimientos era ya capaz de inferir cuál era su intención.

Me pongo en tu lugar

La teoría de la simulación también arroja una nueva luz sobre otra de las principales facultades de la mente social, la empatía. Esta capacidad que nos permite ponernos en la piel del otro, compartir sus sentimientos y ver el mundo a través de su mirada, podría en último término basarse también en la operación de las neuronas espejo. Igual que al observar cómo otra persona manipula un objeto se activan en nuestro cerebro los sistemas encargados de la ejecución de los movimientos correspondientes, poniéndonos de inmediato «en modo acción», ver a alguien expresar miedo o asco dispara los mismos sistemas que entrarían en acción si nosotros mismos experimentásemos esas emociones, poniéndonos «en modo emoción». Por supuesto, también podemos llegar a comprender las acciones y emociones de los demás mediante procesos de inferencia conscientes y racionales. No nos cuesta entender que cuando alguien pierde a un hijo adolescente en un accidente de automóvil experimenta uno de los sufrimientos más intensos que puede sentir un ser humano o que una pareja implicada en un largo proceso de separación pueda pasar por momentos de ira o profunda tristeza. Pero esta es una forma de empatía racional, con un carácter más cognitivo que emocional. De lo que ahora se trata es de otra forma de ponerse en el lugar del otro que no se basa en la inferencia racional sino en una sintonía afectiva casi automática. A través de esta forma de empatía vivimos y compartimos la emoción del otro a partir de su simulación en nuestro propio cerebro y mediante esta resonancia afectiva somos capaces de comprender de forma inmediata e intuitiva las emociones de los demás.

No hace falta adentrarnos en las profundidades del cerebro para observar algunos de los efectos de la resonancia emocional. En muchos estudios de laboratorio se ha observado que la simple visión de fotografías o vídeos de personas mostrando diferentes expresiones emocionales hace que el observador produzca inconscientemente leves contracciones de sus músculos faciales que parecen querer reproducir la expresión observada. Estas respuestas involuntarias aparecen con gran rapidez, menos de medio segundo después de presentarse el estímulo. Aunque no alcancen la magnitud suficiente como para producir un cambio visible en la expresión del observador, esos leves cambios de la musculatura facial pueden ser detectados mediante la técnica denominada electromiografía facial. Electrodo adheridos a la piel de la cara permiten registrar los pequeños cambios de potencial eléctrico generados por la actividad de los músculos subyacentes. Amplificada y procesada la señal correspondiente, es posible demostrar la relación entre esas reacciones faciales imperceptibles y la visión de distintas imágenes dotadas de significado emocional.

Por medio de la electromiografía facial, los investigadores han demostrado que cuando se le presentan imágenes de caras mostrando distintas expresiones emocionales la respuesta facial del observador tiende a corresponderse con la expresión observada. Por ello, este fenómeno recibe el nombre de mimetismo facial. Por ejemplo, ver una cara que muestra una amplia sonrisa produce un incremento de la actividad de los músculos cigomáticos, que son los que al contraerse simultáneamente a ambos lados de la cara desplazan hacia arriba las comisuras de los labios, produciendo la sonrisa. Por el contrario, observar la cara de una persona mostrando un gesto amenazante hará que se contraigan levemente los músculos corrugadores, situados sobre las cejas. Estos son los músculos que al contraerse nos hacen fruncir el ceño, precisamente uno de los movimientos faciales que componen la expresión de ira o amenaza. Estas sutiles respuestas musculares nos indican que percibir la expresión facial de otra persona genera en el observador un estado afectivo incipiente, una especie de emoción de baja intensidad que de algún modo simula el estado emocional de la persona observada. Dato importante: estos efectos de mimetismo son mucho más probables al observar caras sonrientes, especialmente en el curso de interacciones sociales positivas. Por otra parte,

no todos somos igualmente propensos al mimetismo facial. Esta propensión tiende a ser mayor en las mujeres y en personas que muestran puntuaciones elevadas en tests destinados a medir el nivel de empatía. Y finalmente, las reacciones de mimetismo facial tienden a ir en paralelo con la actividad neuronal registrada en regiones del sistema de neuronas espejo del cerebro humano, como la circunvolución infero-frontal, donde se localiza la llamada área 44 de Brodmann, equivalente al área F5 del cerebro del mono.

Hago igual que tú

La capacidad para aprender nuevas conductas a través de la observación del comportamiento ajeno es una herramienta psicológica de enorme valor adaptativo. En qué momento surge la capacidad de imitación en el curso del desarrollo individual y si está o no presente en otras especies son cuestiones controvertidas. Por ejemplo, algunos estudios iniciales que aparentemente demostraban la presencia de imitación en bebés recién nacidos han sido puestos en duda por investigadores posteriores que indican que los signos de verdadera imitación aparecen a una edad más tardía. Por otra parte, demostrar la capacidad de otras especies para la imitación no resulta tarea fácil (¡siempre hay alguna explicación más simple que permite explicar los datos!), aunque algunos estudios sugieren que podría ya estar presente en primates no humanos y en algunas especies de aves. Sea como fuere, es indudable que en nuestra especie la imitación es una tendencia espontánea especialmente durante las primeras etapas del desarrollo y que constituye un recurso de aprendizaje esencial para los seres humanos. No hay más que considerar el importante papel de la imitación en el aprendizaje infantil y la contribución esencial de la imitación vocal al aprendizaje de nuestra lengua materna. El aprendizaje por imitación es además una poderosa herramienta para la difusión de hábitos culturales y frecuentemente se ha especulado con la posibilidad de que la desarrollada capacidad imitativa de los seres humanos se encuentre en la base del desarrollo cultural de nuestra especie. Más que a través de la enseñanza o el entrenamiento formal y explícito, gran parte de los usos y hábitos culturales se transmiten y difunden a través de la imitación de la

conducta de los adultos, especialmente durante la infancia. Intentando hallar los mecanismos cerebrales en que se apoya esta importante forma de aprendizaje, algunos investigadores han creído encontrar la respuesta en las neuronas espejo. Mediante su capacidad para recrear en el cerebro del observador un modelo virtual de las acciones observadas en otras personas, las neuronas espejo podrían ser la clave para explicar cómo los seres humanos y quizá también otras especies animales se las arreglan para sacar el máximo partido a la imitación del comportamiento ajeno.

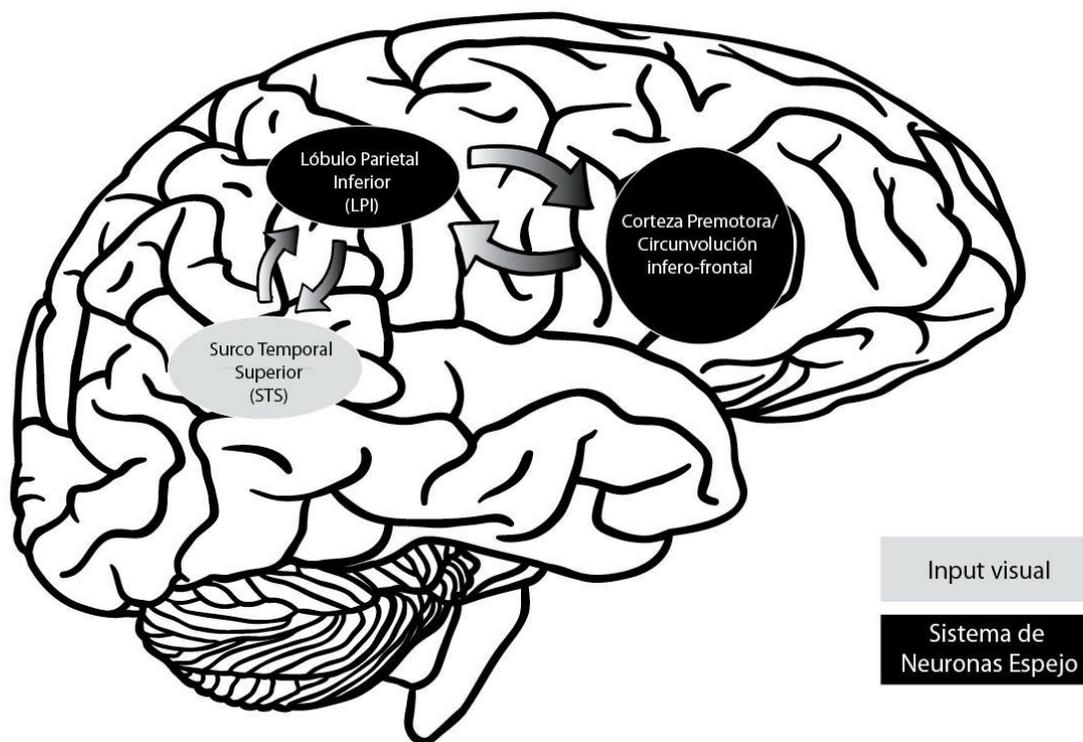
4. ¿Hay neuronas espejo en el cerebro humano?

Antes de lanzar las campanas al vuelo hay que decir que la mayor parte de la evidencia sobre la existencia de neuronas espejo en el cerebro humano es indirecta. Esto es así porque, a diferencia de los estudios animales en los que es posible registrar la actividad de neuronas individuales, la mayoría de los estudios con humanos emplean técnicas de neuroimagen funcional en las que la señal obtenida es el resultado de la actividad de millones de neuronas agrupadas en distintas redes cerebrales. Lo que nos dicen estos estudios es simplemente que la región en que se localiza la actividad «responde» o está implicada al mismo tiempo en la percepción y en la ejecución de un determinado movimiento. Que ello sea debido a la acción de neuronas con una doble función motora y perceptiva es simplemente una hipótesis. Sin embargo, en algunos casos sí se han obtenido pruebas más directas mediante el registro de la actividad de unidades individuales en pacientes sometidos a operaciones de neurocirugía. En un conocido y muy citado estudio, se registró la actividad de neuronas individuales en el curso de la exploración neurológica destinada a la localización de focos convulsivos en pacientes con epilepsia. Durante la realización del experimento, los pacientes pasaban por dos procedimientos distintos, de observación (ver un vídeo en el que otra persona ejecutaba una determinada acción) y de ejecución (realizar ellos mismos esa acción). Registrando la actividad de un total de 1.177 neuronas, los investigadores demostraron que un cierto porcentaje de ellas respondía a una misma acción percibida o ejecutada, al modo de las neuronas espejo descubiertas en el

cerebro de los monos. Sin embargo, la distribución de las regiones en que se observó este efecto fue muy diferente de la esperable de acuerdo con los resultados de la investigación animal. En contraste con la localización fronto-parietal de los sistemas espejo en el cerebro del mono, en este estudio se identificaron neuronas espejo en el hipocampo y zonas circundantes, normalmente asociadas a funciones de memoria, así como en el área motora suplementaria, que es parte del sistema motor del cerebro. Dado que los estudios de neuroimagen sí han revelado una coincidencia entre la localización del supuesto sistema de neuronas espejo en humanos y animales, no está claro cuál pueda ser la razón de esta discrepancia. ¿Quizá que los dos tipos de observaciones se corresponden en realidad con procesos diferentes y no relacionados entre sí?, ¿o que el sistema de neuronas espejo está distribuido de modo más disperso en el cerebro humano?

FIGURA 1

Sistema de neuronas espejo en el cerebro humano



Principales componentes del sistema de neuronas espejo en el cerebro humano.

Movimiento evocado

Una prueba indirecta de la posible existencia de un sistema de neuronas espejo en el cerebro humano procede de los estudios basados en la medición de potenciales motores evocados. Estos potenciales son cambios eléctricos producidos por la contracción de los músculos periféricos en respuesta a las órdenes motoras procedentes de la corteza cerebral, como por ejemplo la intención de cerrar una mano. El incremento de esta actividad electrofisiológica, indicativa de un acto motor incipiente, puede ser provocado por el mero hecho de imaginar un movimiento. Aún más, tal incremento también tiene lugar cuando una persona observa a otra realizar una acción concreta. En un estudio con esta técnica, se demostró un incremento de los potenciales motores musculares en la mano del observador mientras veía a un demostrador agarrar un objeto con la mano. Al observar la acción, el observador parecía prepararse inconscientemente para realizarla él mismo. El hecho de que el patrón de actividad muscular en la mano del observador fuese similar cuando él mismo realizaba la acción y cuando veía ejecutarla al demostrador confirma esta interpretación. Todo parece indicar que la experiencia visual de observar una acción ajena es traducida por el cerebro a su equivalente motor, dando origen en nuestra mente a una «resonancia» motora que incluso puede llegar a manifestarse en una acción incipiente, como cuando el hincha de fútbol tensa sus músculos en un intento inconsciente de ayudar al delantero a propulsar el balón.

La evidencia de la neuroimagen

En las dos últimas décadas, la posible existencia de un sistema de neuronas espejo en el cerebro humano ha sido abordada en cientos de artículos científicos utilizando sofisticadas técnicas de neuroimagen. Ya en 2012 un estudio de meta-análisis¹¹ identificó más de trescientos trabajos publicados en los años anteriores con la técnica de fMRI, o resonancia magnética funcional. Trabajos en los que se había observado la actividad cerebral en

correspondencia con diferentes condiciones experimentales, como la observación de acciones motoras y manipulativas ejecutadas por otra persona, la exposición a los sonidos producidos por diferentes acciones o a la visión de caras mostrando distintas expresiones emocionales. Una importante limitación de muchos de estos trabajos es que no incluyen una comparación explícita entre la actividad cerebral mientras el sujeto observa la realización de una acción y la que se produce cuando es el propio sujeto quien ha de ejecutarla. Este ha sido precisamente el procedimiento empleado en la mayoría de los estudios animales de referencia sobre neuronas espejo y el único que puede demostrar de forma convincente su existencia. En ausencia de esta comparación, la interpretación de los resultados en términos de la actividad de neuronas espejo no deja de ser una conjetura razonable, una hipótesis en espera de confirmación.

Si damos por buenos los resultados de los estudios de neuroimagen en humanos, podemos concluir que, en correspondencia con la investigación animal, la mayoría de ellos apuntan a la presencia de sistemas de neuronas espejo en áreas frontales y parietales de nuestro cerebro. Estas áreas tienen funciones predominantemente motoras y entre ellas se encuentra el área de Broca, o área 44 de Brodmann, considerada como homóloga al área F5 del cerebro del mono y que, como es bien sabido, forma parte del sistema cerebral del habla y del lenguaje. Pero además se han encontrado otras regiones cerebrales, como la corteza visual primaria, el cerebelo o el sistema límbico, que parecen también poseer propiedades espejo, ya que incrementan su actividad igualmente durante la ejecución y la observación de una misma conducta. Sin embargo, de nuevo hay que dejar bien claro que el hecho de que un área o sistema cerebral muestre esa propiedad funcional no implica necesariamente que contenga neuronas con propiedades espejo. Esa función de traducción sensorio-motora a través de la cual se establece la correspondencia entre percepción y acción podría ser, en realidad, una propiedad del sistema y no de los elementos que lo configuran, por lo que quizá sería más apropiado hablar de sistemas-espejo que de neuronas-espejo.

Ondas cerebrales

También se han realizado observaciones coherentes con la existencia de un sistema de neuronas espejo en el cerebro humano a partir del registro de distintos tipos de oscilaciones de la actividad neuronal utilizando técnicas de electroencefalografía (EEG). El registro EEG permite detectar la actividad sincrónica de grandes conjuntos de neuronas que da origen a distintos ritmos u ondas cerebrales. Cada uno de estos ritmos se diferencia por su amplitud (la altura de la onda), su frecuencia (el número de oscilaciones por segundo, expresado en hercios —Hz—) y su localización (en qué zona del cerebro se registra). Por otra parte, distintos patrones oscilatorios se corresponden con distintos estados mentales y tanto su aparición como su supresión proporcionan una valiosa información acerca de la relación entre cognición y actividad cerebral. Por ejemplo, las ondas tipo alfa se localizan principalmente en la corteza occipital, la zona del cerebro encargada de la percepción visual. La actividad alfa se observa cuando el sujeto mantiene los ojos cerrados, pero se interrumpe cuando los abre, lo que indica la entrada en acción de los sistemas cerebrales de análisis visual.

Los investigadores interesados en estudiar el sistema de neuronas espejo del cerebro humano se han ocupado especialmente de un tipo de oscilaciones denominadas ondas MU. Estas ondas de actividad eléctrica tienen una frecuencia dominante en la banda de 8-13 Hz, se generan en redes neuronales de la corteza frontal y parietal y son detectables en estado de reposo, cuando el sujeto no está realizando movimiento alguno. Del mismo modo que la actividad alfa de la corteza occipital se interrumpe cuando el sujeto abre los ojos, la actividad de ondas MU se interrumpe cuando realiza un movimiento, como por ejemplo levantar una mano o, más importante, cuando ve a otra persona realizarlo. De hecho, una de las primeras demostraciones de este efecto supresor fue llevada a cabo en la década de 1950 por Gastaut y Bert, dos médicos franceses especializados en epilepsia que, utilizando como estímulo proyecciones cinematográficas, demostraron que la supresión de ondas MU era más potente cuanto mayor fuese la identificación del espectador con el personaje que actuaba en la pantalla. La interpretación más común de la interrupción de ondas MU por la actividad motora es que refleja un incremento de la actividad cortical asociada a la preparación para la acción. Esta idea es corroborada por la observación de que la supresión tiene lugar

aproximadamente dos segundos antes de que se inicie el movimiento efectivo. Que esto mismo ocurra cuando simplemente vemos a otra persona realizar algún movimiento es un claro indicio de que nuestro cerebro está traduciendo lo observado visualmente al lenguaje motor, convirtiendo el movimiento percibido en una acción incipiente, precisamente una de las principales funciones que se atribuye a las neuronas espejo.

5. Neuronas espejo y empatía emocional

Siento tu dolor

La observación del dolor ajeno es uno de los desencadenantes más eficaces de la empatía. Al contemplar el sufrimiento sentimos de modo casi instintivo el dolor del otro, quizá no como una sensación física pero sí como una reacción afectiva que nos permite sintonizar con el estado emocional de la persona que sufre. Esto es precisamente lo que han encontrado algunos estudios sobre los mecanismos cerebrales que median nuestras respuestas empáticas al dolor ajeno. Pero para comprender el significado de estos estudios debemos primero entender cómo se produce en uno mismo la experiencia del dolor físico. Aunque no seamos conscientes de ello, experimentar en primera persona la sensación de dolor físico requiere la coordinación de dos procesos complementarios. El cerebro debe por una parte realizar un análisis sensorial del estímulo doloroso, de dónde viene, cuán intenso es, si es agudo o continuo... Además de este aspecto sensorial, el dolor ha de ser evaluado en términos afectivos como más o menos desagradable, como más o menos penoso o soportable. La experiencia final del dolor resulta de la combinación de estos dos componentes, el sensorial y el afectivo, cada uno de los cuales depende de redes cerebrales claramente diferenciadas pero que actúan de modo coordinado. El pinchazo de una aguja en una mano produce un incremento de la actividad neuronal en la corteza somatosensorial del hemisferio contralateral (el hemisferio derecho, si el dolor procede de la mano izquierda). Pero, además, la estimulación dolorosa hace que entren en

acción otras regiones cerebrales que tienen un importante papel en la experiencia subjetiva de las emociones, como las zonas anteriores de las cortezas insular y cingulada.

Algunos investigadores han utilizado la hipnosis como medio para identificar las distintas funciones de las regiones cerebrales implicadas en el procesamiento del dolor. Mediante sugestión hipnótica, es posible influir sobre la sensación subjetiva de dolor y hacer que un mismo estímulo nocivo resulte más o menos doloroso. Bajo estas condiciones, sumergir la mano en un recipiente lleno de agua a alta temperatura puede derivar en una sensación más o menos desagradable dependiendo de si el experimentador nos ha sugestionado para sentir más o menos dolor. El estímulo sensorial sigue siendo el mismo, pero la sensación afectiva ha cambiado. ¿Cómo reacciona el cerebro a este curioso tratamiento? Las diferentes redes neuronales que conforman el sistema cerebral de percepción del dolor no responden de la misma forma. Si hemos sido sugestionados para sentir más o menos dolor, la actividad de las zonas anteriores de las cortezas insular y cingulada aumentará o disminuirá de acuerdo con nuestra sensación subjetiva. Sin embargo, las neuronas de la corteza somatosensorial, que registran los parámetros objetivos del estímulo, mostrarán siempre la misma actividad. La conclusión de los investigadores es que las regiones que no ven alterada su actividad en función de la sugestión hipnótica forman parte del sistema sensorial de procesamiento del dolor. Estas regiones codifican los parámetros objetivos de intensidad, duración o localización del estímulo doloroso. En cambio, aquellas que, como la corteza insular, son sensibles a los efectos de la sugestión son las que constituyen el sistema complementario de procesamiento afectivo del dolor. Lo que estas regiones codifican no son las propiedades sensoriales, sino el valor afectivo del estímulo doloroso, que es lo que determina la experiencia subjetiva del mismo.

Cuando empatizamos con el dolor ajeno se producen en el cerebro cambios que hacen que nos sintamos en un estado, en parte, similar al de la persona observada. Esto ocurre a partir de la entrada en acción de algunos de los sistemas que intervienen en la experiencia del dolor en primera persona. Pero sentir el dolor de otros y el de uno mismo no es exactamente lo mismo. La empatía con el dolor ajeno se basa específicamente en la activación de las

redes neuronales implicadas en el procesamiento de los aspectos afectivos del dolor. Esto es lo que se ha descubierto en una interesante serie de estudios de neuroimagen llevados a cabo por la neuropsicóloga alemana Tania Singer. En uno de sus estudios, un grupo de mujeres permanecían en el escáner cerebral mientras ellas mismas o sus parejas, sentadas en un lugar próximo, recibían estimulación dolorosa o inocua en una de sus manos. La pareja estaba situada de tal forma que la mujer podía ver su mano desde el escáner. El dolor en primera persona activaba la red completa de procesamiento del dolor, que incluye tanto los sistemas sensoriales como los afectivos. Sin embargo, cuando la estimulación dolorosa era suministrada a la pareja sentada fuera del escáner, únicamente aparecían activas las regiones implicadas en la codificación de los aspectos afectivos del dolor, como la corteza cingulada anterior. En este estudio, cada tipo de ensayo iba precedido de una señal que indicaba, por ejemplo, si la pareja iba a recibir un estímulo doloroso o inocuo. Es interesante que el simple anuncio de un ensayo doloroso para la pareja bastaba para activar en el cerebro de las participantes el sistema afectivo del dolor. Así pues, el simple conocimiento de que una persona querida va a experimentar dolor basta para alterar el funcionamiento de nuestro cerebro de un modo que acopla nuestra experiencia al estado emocional de la otra persona. Nos encontramos de nuevo ante una cierta forma de simulación mental en la que la observación o el simple anuncio del dolor ajeno nos hace sentir «como si» nosotros mismos lo experimentásemos. Y de nuevo esa simulación parece surgir de un modo automático y no deliberado, intuitivo y no simbólico en tanto en cuanto no requiere la intervención de la reflexión consciente y el lenguaje.

Siento tu asco

La expresión facial de las emociones es la principal puerta de entrada a la mente de nuestros semejantes. Percibir los cambios que van dibujándose en la cara de nuestro interlocutor nos permite una aproximación a los cambios que paralelamente se suceden en su interior. Por supuesto, la expresión de la cara no es siempre un índice fiable de lo que ocurre en el interior de quien la

muestra. Las expresiones faciales de la emoción poseen un grado variable de ambigüedad y pueden significar cosas diferentes en distintos contextos. Quien las muestra puede estar fingiendo, aparentando sentir lo que realmente no siente o tratando directamente de engañarnos. A pesar de todo, la función comunicativa de la expresión facial es indudable y esta función sólo es posible si estadísticamente existe una correspondencia razonable entre lo expresado y lo sentido. Las expresiones faciales probablemente habrían desaparecido de nuestro repertorio conductual si no permitiesen a quien las observa una aproximación a los sentimientos e intenciones de quien las muestra.

Una de las formas a través de las que se manifiesta la función comunicativa de las expresiones faciales de la emoción es la de promover la empatía. Ver las muecas de asco de nuestros amigos mientras beben un brebaje desconocido en un restaurante exótico nos hace comprender de inmediato que lo que están probando es desagradable e incluso puede provocarnos una mueca espontánea de repugnancia. En esta situación quizá evitemos hacer la prueba nosotros mismos porque de algún modo hacemos nuestra la repugnancia observada en las caras de los demás. La empatía, por tanto, no sólo nos motiva a ayudar al que sufre, también puede desempeñar una función autoprotectora que nos evita pasar por una experiencia desagradable. Pero en ambas ocasiones el mecanismo de la empatía se basa en la recreación que nuestro cerebro hace del estado afectivo que a partir de sus manifestaciones externas inferimos en los demás.

La región anterior de la corteza insular, a la que nos hemos referido al hablar de la empatía por el dolor, contiene también neuronas que responden a la percepción de olores o sabores desagradables. Por otra parte, esta región cerebral interviene también en la provocación de la principal respuesta visceral asociada al asco, la náusea y el vómito. En sus estudios clásicos de estimulación cerebral en pacientes epilépticos, el neurólogo Walter Penfield observó que la estimulación eléctrica de la corteza insular anterior provocaba en sus pacientes sensaciones de náusea. Como reportaba uno de sus pacientes, «mi estómago subía y bajaba, como si estuviera vomitando». Se considera por ello que una de las funciones de esta región cerebral es la de transformar la información sensorial, el olor o el sabor repugnantes, en la respuesta visceral más apropiada, el vómito. Estudios más recientes de neuroimagen han

demostrado que, además de ser activada por olores y sabores desagradables, la corteza insular anterior responde a la visión de caras mostrando gestos de asco o repugnancia. En uno de ellos, los participantes eran, por una parte, expuestos ellos mismos a olores agradables, desagradables o neutros, y por otra veían vídeos de actores percibiendo esos mismos olores y mostrando la correspondiente reacción facial. En ambos casos se observó un incremento en la activación de la corteza insular anterior del hemisferio izquierdo. Por tanto, una misma región cerebral relacionada con un afecto tan primitivo como el asco tiene la triple función de identificar estímulos repugnantes potencialmente nocivos, provocar la correspondiente respuesta visceral y mediar la respuesta de empatía asociada a la percepción de expresiones de repugnancia en otras personas.

6. Los límites de la empatía y el dulce sabor de la venganza

Aunque la empatía parece ser un don común de nuestra especie, no todos tenemos la misma capacidad para ponernos en el lugar de los demás, ni siempre lo hacemos en el mismo grado. Por una parte, la empatía, igual que la amabilidad o el neuroticismo, es un rasgo estable de personalidad y muestra como tal gran variabilidad de unas personas a otras. Estudios de neuroimagen como los recién descritos han demostrado que la magnitud de la actividad cerebral ante la visión del dolor ajeno es proporcional al nivel de empatía característico de cada persona. Por ejemplo, el fenómeno de mimetismo facial del que hemos hablado en este mismo capítulo puede no observarse en absoluto en personas con un reducido nivel de empatía y parece estar ausente en niños autistas, que se caracterizan precisamente por una reducida empatía y una deficiente capacidad para inferir qué ocurre en la mente de los demás. Un factor no menos importante, el aprendizaje social, creador de preferencias, aversiones y prejuicios, determina a quién brindamos y a quién negamos nuestra empatía. Lejos de ser un reflejo automático, la empatía está condicionada por nuestra actitud hacia el otro. Excepto para aquellas contadas personas capaces de mostrar una indiscriminada e incondicional compasión hacia el prójimo, la interacción social es un juego de reciprocidades en el que

lo que damos es proporcional a lo que percibimos que nos dan. Todo esto, que forma parte de nuestro conocimiento informal e intuitivo de las relaciones sociales, tiene una clara correspondencia en el cerebro.

Tania Singer, cuyos estudios sobre las bases de la empatía hacia el dolor ajeno acabamos de comentar, ha demostrado que la opinión que nos merecen los demás es un potente determinante de nuestra actitud empática. En uno de sus estudios hizo primero que participantes de ambos sexos interactuasen con dos diferentes jugadores (en realidad, dos cómplices de los investigadores) en una situación de intercambio económico. Mientras que uno de los jugadores se comportaba de forma justa en correspondencia con el comportamiento del participante, el otro lo hacía de forma egoísta e injusta. Evidentemente, esta experiencia llevaba a los participantes a evaluar de forma muy diferente a cada jugador, considerando al «bueno» como más justo, más agradable e incluso más atractivo que el «malo». A continuación, mientras permanecían en el escáner de resonancia magnética, los participantes recibían ellos mismos estimulación dolorosa en una mano o veían la reacción de los jugadores bueno y malo al recibir esa misma estimulación. Ante la visión del dolor infligido al jugador bueno, se observó un incremento de la actividad en la corteza insular y en la zona anterior de la corteza cingulada, igual que cuando el propio participante recibía la estimulación dolorosa. Sin embargo, esta activación era notablemente inferior cuando los participantes veían sufrir al jugador malo. Dicho de otro modo, la empatía con el dolor ajeno era claramente superior cuando quien sentía dolor era el jugador bueno. Esta diferencia resultó especialmente notable en el caso de los participantes varones, que prácticamente no mostraban respuesta cerebral empática ante el dolor de los jugadores que peor se habían portado. Es más, en esta condición los participantes varones mostraron un significativo incremento de la actividad en regiones cerebrales como el núcleo *accumbens* y la corteza orbitofrontal, que forman parte del sistema cerebral de recompensa y que normalmente responden a cosas como la comida, las drogas, el dinero o la visión de una cara atractiva.

Los resultados del estudio de Singer indicaron que, al menos en el caso de los participantes varones, la visión del dolor experimentado por los jugadores injustos era experimentada como algo agradable, quizá incluso haciéndoles

sentir cierta satisfacción al ver sufrir a alguien que se había portado mal. A este respecto, es interesante que el incremento de la actividad en el sistema de recompensa fue directamente proporcional al deseo subjetivo de venganza manifestado expresamente por los participantes. Y un detalle final, con el fin de evitar posibles sesgos basados en el sexo de los jugadores, los investigadores tuvieron cuidado de incluir todas las combinaciones de participantes y cómplices en cuanto al sexo, de modo que hubiese tanto hombres como mujeres que interactuaban con jugadores del mismo o diferente sexo. Aun con estas precauciones, los resultados se mantuvieron invariables.

El estudio recién comentado puede considerarse como una transcripción al lenguaje cerebral de un cierto sentido intuitivo de la justicia basado en la reciprocidad. Quien se comporta de modo justo y equitativo es valorado positivamente, merece nuestra compasión y es por ello objeto de nuestra empatía. En cambio, quien se comporta de modo egoísta o se aprovecha de la bondad de los demás es inmediatamente valorado de forma negativa y se gana rápidamente una mala reputación que puede llegar a privarle de la compasión y la empatía de sus semejantes. Si en la mayoría de nosotros existe un sentido casi instintivo de la compasión, tal instinto no se aplica de forma indiscriminada sino condicional al comportamiento previo y a la reputación del potencial beneficiado. Como demuestran los estudios de Singer, en el reverso de la empatía se halla la satisfacción por el castigo a quien viola las normas no escritas de la reciprocidad. Biólogos y científicos sociales han propuesto el concepto de «castigo altruista» para referirse a los casos en que alguien inflige un castigo a un transgresor aun a costa de sufrir él mismo una pérdida. Según los biólogos evolucionistas, este comportamiento, mucho más frecuente de lo que podría parecer a primera vista, habría desempeñado un papel crucial en la evolución de la cooperación entre seres humanos. La evolución parece haber seleccionado el truco psicológico para que los seres humanos castigemos a los transgresores, aunque ello vaya en nuestra contra: hacernos disfrutar de la venganza. La satisfacción que quien administra el castigo experimenta al percibir el daño infligido al transgresor, algo muy similar a lo observado en el estudio de Tania Singer, sería, por tanto, la base emocional de este peculiar modo de actuar. Sin embargo, en ese estudio los sujetos no administraban ellos mismos el castigo al jugador injusto ni tampoco

perdían nada cuando éste sufría. ¿Siente realmente alguna satisfacción quien castiga a un transgresor a pesar de que tal castigo le reporte a él mismo un perjuicio evidente? Los resultados de los estudios de neuroimagen nos dicen que esto es exactamente lo que ocurre.

Un equipo de científicos de la Universidad de Zúrich publicaron en el año 2004 en la revista *Science* los resultados de un estudio sobre las bases neuronales del castigo altruista. Igual que en el estudio de Tania Singer, los participantes tomaron parte en un juego económico en el que intercambiaban dinero con distintos contrincantes que podían actuar de manera justa y recíproca o injusta y egoísta. En un momento dado, los participantes podían decidir castigar al jugador egoísta, otorgándole puntos de castigo que suponían una pérdida de dinero tanto para el contrincante injusto como para ellos mismos. Durante el juego, la actividad cerebral de los participantes fue monitorizada mediante la técnica PET (tomografía por emisión de positrones)¹². La hipótesis de los investigadores era que si el castigo altruista resulta satisfactorio para quien lo inflige, entonces debería ir acompañado de un incremento de la actividad en las regiones cerebrales asociadas al procesamiento de premios y recompensas. En efecto, de modo similar a lo observado en el estudio de Tania Singer, los resultados mostraron un incremento significativo en el estriado ventral, la región cerebral asociada a la anticipación y procesamiento de recompensas como la comida o el sexo. Es más, tal incremento se relacionaba directamente con el deseo manifiesto por el participante de castigar al jugador egoísta, siendo mayor cuanto más intenso era ese deseo. Como concluían los investigadores, el nivel de activación en el estriado ventral parecía reflejar la satisfacción anticipada por el castigo infligido a los jugadores que no respetaban las normas básicas de reciprocidad. Todo ello a pesar de las pérdidas que tal castigo suponía para quienes lo administraban.

De acuerdo con resultados como los recién comentados, se diría que dones tan humanos como la empatía y la compasión se administran a menudo de modo cicatero y, en cualquier caso, acorde a los intereses de quien los otorga. Actitudes y prejuicios tan indeseables como el racismo tienen su reflejo en el modo en que el cerebro responde al malestar de los demás, como indican los estudios en los que los participantes muestran mayor respuesta empática en su

cerebro ante la contemplación del dolor cuando quienes lo sufren son individuos de su misma raza. Como reza el título de uno de estos estudios, «su dolor no es nuestro dolor». La buena noticia es que este sesgo racista es modificable en función de la experiencia con personas de otras razas. Del mismo modo que el aprendizaje vuelve menos digno de compasión a quien se porta de modo injusto o a quien nos han enseñado a percibir como extraño y peligroso, la convivencia compensa sesgos y prejuicios y humaniza a nuestros semejantes. Es como si el trato continuado con aquellos a quienes inicialmente contemplamos con recelo nos hiciese caer en la cuenta de su semejanza básica con nosotros mismos, haciéndoles así merecedores de nuestro respeto y compasión.

7. Imitando a través del espejo

Exigencias de la imitación

Los descubridores de las neuronas espejo han dado gran importancia al papel que este tipo de células cerebrales podrían desempeñar en la imitación. Aunque sea de un modo metafórico, ya de entrada se diría que quien imita la conducta de otro la refleja en sí mismo como si fuera un espejo. Pero ¿hay argumentos más sólidos que esta metáfora para apoyar tal hipótesis? ¿Cuáles son los datos en que se apoya? En primer lugar, hay que aclarar cuál es el problema que la imitación le plantea al cerebro. Para hacer posible la imitación de un movimiento que vemos realizar a otra persona, por ejemplo, agarrar un objeto con sus manos, el cerebro debe «traducir» el estímulo visual y convertirlo en las órdenes motoras adecuadas que han de ser enviadas a nuestras manos. Establecer esa correspondencia sería, precisamente, la principal función de las neuronas espejo en la imitación. Si el movimiento observado es suficientemente simple o si, aun siendo complejo, está en el repertorio del observador (pensemos en un bailarín experimentado tratando de imitar los pasos de otro bailarín experto), la imitación puede llevar a una reproducción fiel del movimiento observado, ya que las neuronas espejo

habrán establecido previamente la necesaria correspondencia entre percepción visual y acción motora.

Aunque la imitación puede ayudar a la adquisición de nuevas destrezas, las neuronas espejo no puede obrar milagros, no al menos sin la ayuda del aprendizaje. Para el común de los mortales, intentar imitar las ágiles evoluciones de un bailarín de danza clásica sobre el escenario lleva en el mejor de los casos a producir una pobre caricatura de la conducta observada... o a dar con nuestros huesos en pleno suelo. En el aprendizaje de destrezas complejas, la imitación puede ser simplemente la señal de salida para un largo y penoso proceso de aprendizaje que progresará lentamente a través de un dilatado proceso de corrección y refinamiento de intrincadas secuencias de movimientos. Y uno de los logros de ese proceso puede ser precisamente el de asociar entre sí los distintos componentes perceptivos y motores de esas secuencias, de modo que la presencia de uno de ellos (ver a otro bailarín realizar una determinada figura de baile) active de modo casi automático los demás elementos (la tendencia a producir uno mismo la acción observada). Así, las neuronas espejo aprenden a realizar su función.

Algunos estudios de neuroimagen han recurrido a la imitación de movimientos muy sencillos, como flexionar un dedo, para estudiar cuáles son las regiones cerebrales implicadas en el comportamiento imitativo. En estos estudios se comparan los patrones de activación cerebral cuando el sujeto observa pasivamente un movimiento, cuando lo observa para imitarlo y cuando lo produce de forma espontánea o en respuesta a una señal arbitraria. Si el sistema de neuronas espejo interviene en la imitación, debería entonces mostrar mayor activación en la condición de imitación. Esto es exactamente lo que ocurre. Y, de nuevo, el incremento selectivo de activación en la condición de imitación es especialmente notable en la circunvolución infero-frontal, el área 44 de Brodmann que es considerado como un componente esencial del sistema de neuronas espejo en el cerebro humano.

El efecto camaleón

La tendencia espontánea a imitar el comportamiento de los demás, usualmente

asociada con la infancia, no desaparece en la edad adulta. En realidad, la imitación inconsciente de ciertos aspectos del comportamiento ajeno parece ser un requisito indispensable para que la interacción social fluya adecuadamente. Sin darnos cuenta, imitamos los gestos, manierismos y expresiones faciales de las personas con quienes interactuamos (el llamado «efecto camaleón») y esa imitación contribuye a ponernos en sintonía mutua, a gustar más a nuestro interlocutor y a mejorar la calidad de la relación. Es ésta una forma de mimetismo que actúa como un eficaz lubricante de la maquinaria de las relaciones interpersonales. Claro ejemplo de ello es la observación de que el grado en que congeniamos con alguien con quien interactuamos por vez primera aumenta significativamente si vemos que su cara refleja nuestros propios gestos. Algunas pruebas experimentales indican que el mimetismo social revelado por el efecto camaleón podría también estar mediado por la actividad del sistema de neuronas espejo. Pero igual que ocurre con la empatía, la tendencia a reproducir de forma inconsciente gestos y expresiones no es gratis ni se desencadena de forma indiscriminada. No resulta nada sorprendente que se manifieste especialmente durante la interacción con personas con las que mantenemos una buena relación o que simplemente «nos caen bien». Estudios de actividad cerebral han logrado identificar sistemas neuronales que ejercen un control sobre el sistema de neuronas espejo y que modulan su actividad, excitándolo o inhibiéndolo en función del tipo de relación existente entre las personas que interactúan o de factores contextuales como el grado de correspondencia entre sus metas en el momento de la interacción. Si mis metas y las tuyas son complementarias reflejaré tus gestos y así colaborarás mejor. Si estamos compitiendo, dejemos que cada uno siga su propio camino.

Del ballet clásico a la capoeira

Aunque su objetivo no era el estudio de la imitación, un ingenioso estudio realizado por Beatriz Calvo-Merino, actualmente en la Universidad de Londres, pone de manifiesto la diferencia entre los mecanismos cerebrales que se ponen en marcha cuando observamos a otra persona ejecutar

comportamientos complejos según estén o no dentro de nuestro repertorio de conductas. En este estudio, bailarines de *ballet* clásico y expertos en *capoeira* (un arte marcial brasileño que mezcla danza y acrobacia) veían vídeos de bailarines clásicos o de *capoeira* mientras se registraba su actividad cerebral en el escáner de resonancia magnética. En principio, la observación de estas conductas debería poner en funcionamiento el sistema de neuronas espejo, pero ¿lo haría de igual forma en todos los participantes? La cuestión a dilucidar era si la distinta experiencia de cada grupo se reflejaría en un diferente patrón de actividad cerebral dependiendo del tipo de actividad observada. Por ejemplo, los expertos en *capoeira* deberían reconocer sus propios movimientos al ver a otros expertos desarrollar su habilidad, pero deberían sentir como ajenos los movimientos típicos del *ballet* clásico. Los resultados demostraron una superior activación en regiones pertenecientes al sistema de neuronas espejo, como la corteza premotora y varias áreas de la corteza parietal, precisamente cuando cada participante observaba vídeos que mostraban la ejecución de expertos de su propio estilo de danza. La actividad cerebral, al contemplar el desarrollo de acciones complejas, por tanto, depende de la propia experiencia motora del observador. Una misma acción percibida por distintos observadores da origen a distintos patrones de actividad cerebral que implican en mayor o menor grado al sistema de neuronas espejo dependiendo del grado de familiaridad o destreza en la ejecución de esa misma acción. En definitiva, es más fácil meterse en la piel de alguien que actúa de un modo que nos resulta familiar.

Una conclusión que se deriva de los resultados del estudio de Calvo-Merino es que, para desempeñar sus funciones, las neuronas espejo deben «aprender». Para que la observación de una acción realizada por otra persona produzca el efecto de resonancia en la mente del observador, para que despierte en éste la predisposición que le haga sentir «como si» fuera él mismo quien la ejecuta, es preciso que anteriormente se haya establecido la correspondencia entre percepción y acción. En los bailarines de *capoeira* o *ballet*, años de experiencia continuada viendo y practicando su respectivo estilo de danza han llegado a unir firmemente ambos aspectos, de forma que les basta contemplar el desempeño de otro bailarín para reproducir en su propia mente un estado similar al que se produciría de ser ellos mismos

quienes bailan. Si realmente existen, las neuronas espejo no vienen entrenadas de fábrica. Para desarrollar su función, las neuronas espejo también necesitan aprender. Este mismo hecho sugiere que las neuronas espejo pueden desempeñar un papel esencial en la imitación de comportamientos que ya están en el repertorio conductual del observador. Sin embargo, cuando se trata de la adquisición de nuevas conductas y destrezas complejas a través de la observación del comportamiento ajeno, es más probable que las neuronas espejo sean sólo uno de los mecanismos necesarios para el aprendizaje.

8. Desarrollo socioemocional, autismo y espejos rotos

Frente a la concepción más tradicional que consideraba la educación desde el punto de vista casi exclusivo de la formación intelectual y la adquisición de conocimientos, las tendencias pedagógicas más actuales ven la práctica educativa como una empresa con miras más amplias que incluyen también el desarrollo de las capacidades sociales y emocionales del niño. Hacerle comprender al niño su papel en relación con su entorno social, inculcarle valores de tolerancia y apertura mental y permitir un adecuado desarrollo y manejo de sus emociones, son metas que la sociedad demanda y que pedagogos y educadores intentan alcanzar con más o menos éxito. Si el logro de estas metas es de por sí costoso, la tarea se vuelve aún más ardua cuando se trata de niños que precisamente muestran serias carencias en su desarrollo socioemocional. Padres, educadores y compañeros de clase tienen que enfrentarse a la perplejidad que les causan comportamientos y actitudes incomprensibles o inapropiadas que no se corresponden con lo que la experiencia les ha enseñado a esperar de sus semejantes. El desconocimiento de la naturaleza de los trastornos del desarrollo socioemocional hace muchas veces que los niños que los padecen sufran el rechazo o la incomprensión de sus pares y que acaben percibiendo la escuela como un lugar poco amigable, con la probable secuela de un mal rendimiento académico que puede finalmente llevar al fracaso escolar.

El autismo y la mente social

El caso más llamativo de los trastornos del desarrollo socioemocional es sin duda el del autismo. El autismo es un trastorno severo del desarrollo que afecta a las capacidades cognitivas, sociales y emocionales del niño. Debido a la variedad de condiciones englobadas por el término «autismo», actualmente es costumbre utilizar la denominación más general y menos categórica de «trastornos del espectro autista». Por ejemplo, niños diagnosticados como «autistas» difieren notablemente en cuanto a su desarrollo intelectual, que puede ir desde el retraso mental severo a una inteligencia dentro de la normalidad o incluso a la presencia de cualidades intelectuales o artísticas excepcionales. Sin embargo, por brevedad, en este apartado utilizaré la denominación clásica de «autismo».

Un rasgo prominente del trastorno autista y que es común a todas sus variedades es la presencia de serias dificultades en múltiples aspectos relacionados con la interacción social. Navegar el complejo mundo de las relaciones sociales, con sus ambigüedades, imprecisiones y dobles sentidos, resulta una penosa tarea para el niño (y el adulto) autista. Aprender a manejar lo que una célebre autista, la zoóloga Temple Grandin, ha llamado «las reglas no escritas de las relaciones sociales», resulta un difícil proceso que ha de desarrollarse por cauces distintos a los que están al alcance del niño típico. Lo que éste aprende de modo implícito y sin esfuerzo en el curso de la interacción social, el autista debe incorporarlo como un conjunto de reglas explícitamente enseñadas y definidas. Las normas implícitas que rigen la interacción social son para el autista un oscuro misterio casi imposible de descifrar. Por ejemplo, en su particular lista de reglas no escritas Grandin menciona entre otras las siguientes: «que una persona sea amable conmigo no quiere decir que sea mi amiga», «las personas pueden actuar de forma diferente en público y en privado» y, quizá la más perturbadora desde el punto de vista autista, «las reglas no son absolutas, dependen de la situación y de las personas»¹³.

Una popular explicación de las dificultades sociales características del autismo considera que este trastorno conlleva un funcionamiento deficiente de un sistema mental denominado «teoría de la mente», que nos permitiría

comprender de manera intuitiva las mentes de otras personas. Cuando está normalmente desarrollado, este sistema nos otorga la capacidad de «mentalización» a través de la cual realizamos inferencias acerca de los estados mentales de las personas con quienes interactuamos. Se trataría, en definitiva, de un sistema que nos permite formular teorías de andar por casa sobre las mentes de los demás. Un sistema cuya capacidad para realizar tales inferencias no viene dada por naturaleza, sino que surge de la experiencia continuada con el entorno social.

En el curso de nuestra experiencia en el entorno social detectamos regularidades que, a partir de signos externos como la expresión facial, la entonación de la voz o los propios mensajes verbales, nos permiten plantear hipótesis o «teorías» acerca de los estados internos e intenciones de los demás. Mediante esta capacidad de mentalización somos capaces de ver la realidad desde la perspectiva del otro, ponernos en su lugar y darnos cuenta de algo tan simple como que alguien que contempla el paisaje desde una posición distinta a la nuestra no ve exactamente el mismo panorama. Una observación común es que los niños autistas muestran un bajo rendimiento en pruebas diseñadas expresamente para evaluar las capacidades de mentalización, como el conocido test de Sally y Annie, que pone a prueba la capacidad del niño para adoptar la perspectiva de otra persona. La dificultad para empatizar con las emociones de los demás y una escasa tendencia a la imitación espontánea de gestos o expresiones faciales es también características de los trastornos autistas y pueden ya observarse en estadios tempranos del desarrollo.

FIGURA 2

Test de Sally y Annie para la evaluación de la teoría de la mente

Esta es Sally



Sally tiene una cesta

Esta es Annie



Annie tiene una caja



Sally tiene una canica. Guarda la canica en su cesta



Sally se va a dar un paseo.



Annie coge la canica de la cesta y la mete en su caja.

Ahora vuelve Sally.

Quiere jugar con su canica.



¿Dónde va a buscar Sally su canica?

El test de Sally y Annie es empleado para la evaluación de las capacidades de mentalización. El niño debe darse cuenta de que Sally no sabe que Annie ha cambiado la canica de lugar y que, por tanto, cuando vuelva creerá que sigue donde la dejó y la buscará en la cesta.

¿Un espejo roto?

Si el sistema de neuronas espejo desempeña un papel tan esencial en la empatía, en la comprensión intuitiva de las acciones de los demás y en la imitación, parece lógico suponer que en el autismo su funcionamiento no es del todo correcto. Quizá el sistema de neuronas espejo es el que permite al niño típico aprender intuitivamente esas reglas no escritas de las relaciones sociales que tanto esfuerzo le cuesta comprender al niño autista. Y quizá un deficiente desarrollo de ese sistema cerebral sea la clave de sus déficits y dificultades sociales. De hecho, las explicaciones actuales del autismo lo consideran como un trastorno debido a una trayectoria errónea del desarrollo cerebral y podría ser que el sistema de neuronas espejo fuese el más afectado. Lo cierto es que la teoría del «espejo roto» ha alcanzado gran popularidad y en muchos casos se ha dado por firmemente establecida, aunque en realidad las pruebas a su favor no son tan contundentes como a veces se piensa. Como muestra del entusiasmo despertado por esta teoría, baste decir que un artículo de revisión publicado en 2013 identificó veinticinco estudios empíricos sobre autismo y neuronas espejo con técnicas de neuroimagen y ¡treinta y seis! artículos de revisión sobre el mismo tema. Claramente, el interés por la confirmación de la teoría supera con mucho a la cantidad de datos que la apoyan.

La visión de expresiones faciales de emociones como la tristeza, la alegría o el miedo produce en el cerebro del observador alteraciones que van más allá del esperable incremento de la actividad de los sistemas de procesamiento visual. Las expresiones faciales de la emoción no son sólo estímulos visuales. Transmiten también una rica y variada información que va más allá de la pura apariencia y como tales han de ser analizados por otros sistemas neuronales implicados en la decodificación de su significado social y emocional. Como hemos visto en un apartado anterior de este mismo capítulo, las expresiones percibidas en el rostro de nuestros semejantes pueden desencadenar respuestas empáticas que se manifiestan en el rostro del propio observador. Sabemos también que regiones del sistema de neuronas espejo se activan ante la visión de expresiones de dolor, asco y otras emociones. Si esa activación es necesaria para la experiencia de la empatía y dadas las dificultades que niños y adultos autistas experimentan para empatizar de forma espontánea, se esperaría encontrar en ellos importantes variaciones en la

respuesta a las expresiones faciales de sus semejantes.

Como ya se ha dicho, una de las hipótesis más populares sobre el origen del autismo lo atribuye a un desarrollo anómalo del sistema de neuronas espejo. Algunos estudios han demostrado, por ejemplo, que los niños autistas no manifiestan mimetismo facial espontáneo ante la visión de caras emocionalmente expresivas en la misma medida que los niños con un desarrollo normal o que muestran respuestas no diferenciadas a distintas expresiones. Por otra parte, mediante técnicas de neuroimagen se han observado patrones discrepantes de actividad cerebral en niños autistas y en controles durante la observación e imitación de expresiones faciales de la emoción. En uno de estos estudios se pidió a un grupo de niños autistas y a un grupo de control que observasen imágenes que mostraban distintas expresiones y que en algunos ensayos determinados trataran de imitarlas. Desde el punto de vista de la conducta no parecía haber diferencias entre los grupos, ya que ambos eran igualmente eficientes imitando las expresiones que veían. Esto no es sorprendente habida cuenta de que los niños autistas no suelen imitar de forma espontánea pero sí pueden hacerlo si se les pide expresamente. En el estudio que comentamos, la diferencia surgió al analizar la actividad cerebral. Tanto en la condición de observación como en la de imitación, los niños del grupo control mostraron un incremento de la actividad en el córtex infero-frontal, uno de los núcleos del sistema de neuronas espejo. Sin embargo, en los niños autistas no hubo evidencia de esta actividad o si apareció lo hizo de forma reducida. Otro resultado importante de este estudio es que en los niños autistas la actividad en las regiones de neuronas espejo correlacionó negativamente con la gravedad de su sintomatología. Es decir, que los niños con síntomas más severos eran los que manifestaban menor actividad en el sistema de neuronas espejo.

Otro dato que parece confirmar la teoría del espejo roto tiene que ver con el efecto de supresión del ritmo MU, al que nos hemos referido en un apartado anterior de este capítulo. Algunos estudios han encontrado que, igual que los niños de un grupo control, los niños autistas muestran supresión de estas ondas cerebrales al realizar movimientos voluntarios. Sin embargo, a diferencia de los controles, los niños autistas no manifiestan la misma supresión al observar las acciones de otra persona. Como ya se ha dicho, la supresión de la

actividad MU por la observación de acciones se considera un índice de la actividad de los sistemas de neuronas espejo, por lo que la ausencia de tal reducción podría reflejar un funcionamiento deficiente de dicho sistema en los niños autistas.

Pero no todo son buenas noticias para la teoría del espejo roto. Los resultados comentados en los párrafos anteriores no siempre se han replicado y dada la variedad de formas en que se manifiestan los trastornos autistas tampoco está claro que sean generalizables a todas las personas diagnosticadas. Por otra parte, aunque la evidencia obtenida con técnicas de neuroimagen sugiere una reducida sensibilidad del sistema espejo del cerebro autista a estímulos con un significado social y emocional, no parece ocurrir lo mismo cuando se evalúa la actividad cerebral evocada por la observación de acciones neutras. Esto podría indicar que el problema del autista no es tanto comprender el significado y la intencionalidad de las acciones de los demás, sino captar su significado relacional y afectivo.

En un intento por dar con una explicación neurológica del trastorno, algunos investigadores han buscado posibles características estructurales distintivas del cerebro autista. Por ejemplo, algunos estudios han encontrado un menor grosor cortical en zonas correspondientes al sistema de neuronas espejo, con una reducción significativa de sustancia gris. Sin embargo, en otros estudios no se han hallado tales diferencias y en cambio sí se han detectado alteraciones notables en otras regiones corticales. Entre ellas se halla el área V5 de la corteza visual, implicada en la percepción del movimiento, algunas regiones subcorticales como los ganglios basales, que intervienen en el control de los actos motores y el cerebelo. Estas alteraciones podrían estar causalmente relacionadas con los déficits de percepción visual y las anomalías motoras y comportamientos repetitivos que se observan comúnmente en niños autistas.

Según indica un estudio de meta-análisis publicado en 2012, en el que se reanalizaron los datos correspondientes a 277 personas con diagnóstico de autismo junto con sus correspondientes controles, existen anomalías estructurales consistentes en diversas regiones del cerebro autista, observándose una alteración de las densidades de sustancia gris y sustancia blanca en comparación con los cerebros control. Dato importante: estas

alteraciones se modifican con la edad, pudiendo darse incrementos o decrementos de la densidad del tejido nervioso asociados al crecimiento. Por ello, un cuadro estático del «cerebro autista» es probablemente una entelequia poco compatible con el carácter dinámico del desarrollo cerebral y de la evolución del propio trastorno autista. En resumen, aunque hay datos sugerentes que indican un posible desarrollo anómalo del sistema de neuronas espejo en el autismo, la teoría del espejo roto debe considerarse aún como una hipótesis y no como una explicación definitiva y bien establecida. Por otra parte, el autismo conlleva una amplia serie de déficits y peculiaridades cognitivas y comportamentales que probablemente no pueden explicarse en función de un único factor y que no parecen guardar relación alguna con las funciones atribuidas al sistema de neuronas espejo del cerebro humano. De nuevo, una explicación basada en el cerebro que resulta aparentemente intuitiva y que alcanza un notable eco en la sociedad deja sin contestar muchas preguntas cuando se la mira de cerca.

⁹ Meltzoff, A. N. (2007). Like me: A foundation for social cognition. *Developmental Science*, 10, pp. 126-134.

¹⁰ Ramachandran, V. S.: Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind «the great leap forward» in human evolution. En *Edge: the Third Culture*, http://www.edge.org/3rd_culture/

¹¹ Un meta-análisis es un estudio cuantitativo en el que se emplean técnicas estadísticas especialmente diseñadas para reanalizar los datos combinados de un conjunto de estudios previos sobre un determinado tema. Al aumentar el número de datos y casos analizados, el meta-análisis tiene una mayor potencia para detectar posibles efectos significativos.

¹² La PET es una técnica de neuroimagen basada en la medida del metabolismo cerebral y la emisión de positrones por compuestos marcados radiactivamente que se le han inyectado al paciente o sujeto experimental.

¹³ Grandin, T. y Barron, S. (2005). *Unwritten rules of social relationships: Decoding social mysteries through the unique perspectives of autism*. Arlington, TX: Future Horizons, p. 383.

ENTRE LA RAZÓN Y LA INTUICIÓN: UNA HISTORIA DE DOS HEMISFERIOS

*Algo le debo a la tierra que me soporta
más a la vida que me alimenta,
pero mucho más a Alá
que dotó a mi cabeza de dos lados bien distintos.
Preferiría ir sin vestido ni zapatos,
sin amigos, tabaco o alimentos,
antes que abandonar por un instante
uno de los dos lados de mi cabeza.*

Rudyard Kipling, *Kim* (1901)¹⁴

1. Simetría y asimetría

La simetría abunda en la naturaleza. Simetría radial de las flores, simetría bilateral del cuerpo de los animales, patrones geométricos repetitivos en los panales construidos por las abejas, simetría en rocas y cristales, simetría incluso en la estructura molecular. En los animales con simetría bilateral, como el *homo sapiens*, el cuerpo puede ser dividido en dos mitades idénticas a lo largo de un plano longitudinal imaginario que correría desde la cabeza a los pies partiendo de la línea media del cráneo (el plano sagital). A ambos lados de este plano las mitades izquierda y derecha del cuerpo son simétricas... o casi. Por ejemplo, las sutiles diferencias entre las mitades izquierda y derecha de las caras humanas generalmente nos pasan desapercibidas y a pesar de ello determinan juicios y primeras impresiones. Por lo general, las caras que se acercan más a la simetría, sean masculinas o femeninas, tienden a resultar más atractivas, o al menos así le parece aproximadamente al 70% de las personas. No sólo las caras, también los cuerpos que más se acercan a la simetría nos parecen más atractivos,

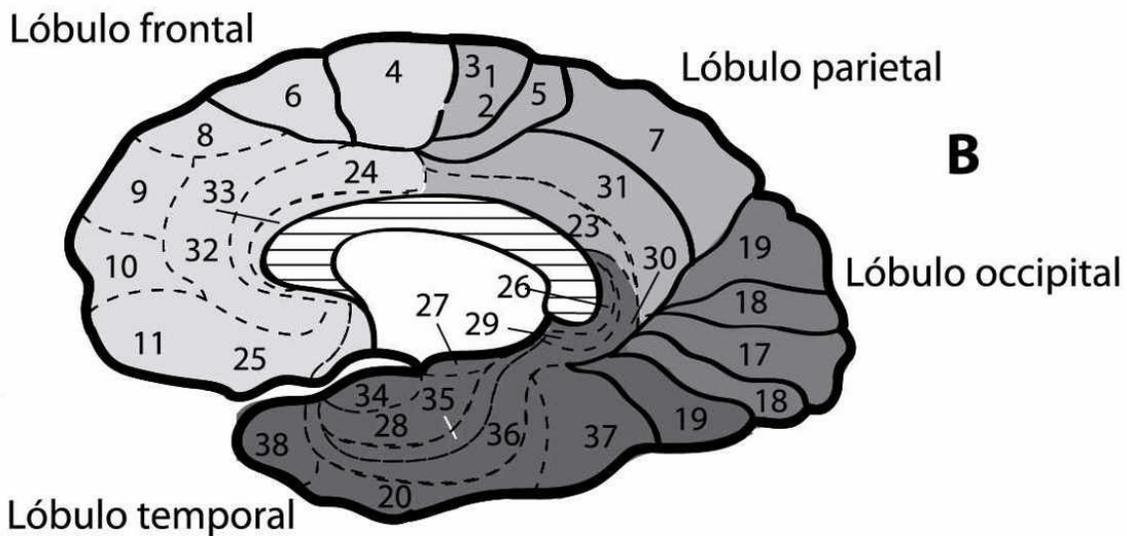
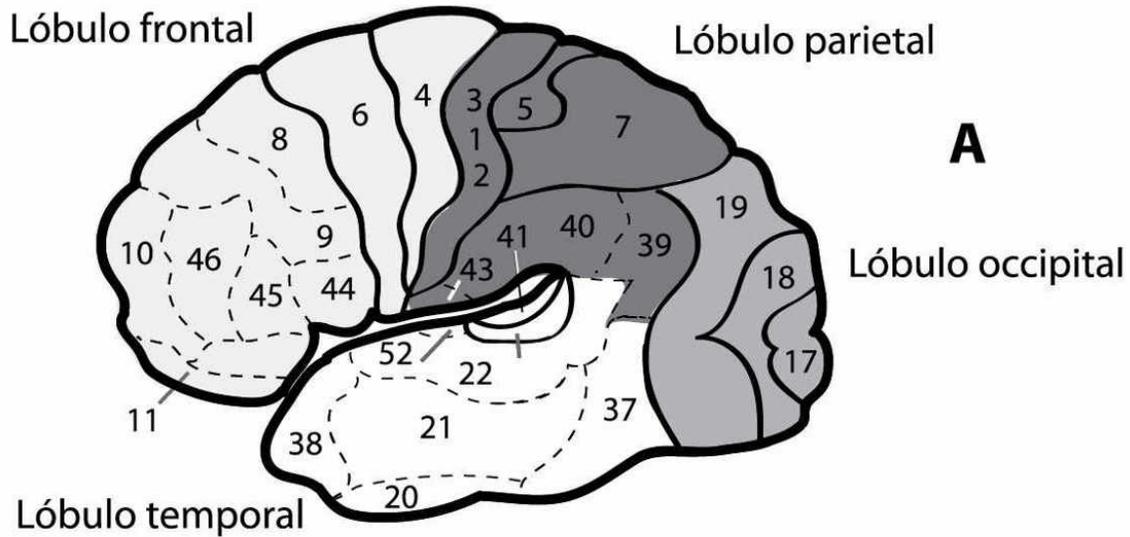
respetando un canon clásico de belleza que fue espléndidamente representado por Leonardo da Vinci en su famoso dibujo del *Hombre de Vitruvio*, en el que el genio del Renacimiento representó las proporciones ideales del cuerpo humano.

La simetría exterior característica de los animales bilaterales se rompe cuando nos adentramos en el interior del cuerpo, donde la mayoría de los órganos son asimétricos en cuanto a su forma (la diferencia en la estructura de los pulmones izquierdo y derecho) o su localización (el corazón). La simetría reaparece en el cerebro con su organización en dos grandes lóbulos o hemisferios que recuerdan a las dos mitades de una nuez. Aunque los hemisferios cerebrales están separados por una hendidura longitudinal, se hallan conectados en su base por densos haces de fibras nerviosas, el mayor y principal de los cuales es el cuerpo caloso. Un intenso y continuo tráfico de actividad nerviosa a través de estos haces o comisuras permite el intercambio de información entre ambos lados del cerebro. Externamente, los dos hemisferios cerebrales no parecen diferir entre sí. La fina pero extensa capa que constituye la corteza cerebral (alrededor de 2.600 cm² de superficie y 3-4 centímetros de grosor) ha de amoldarse a la reducida cavidad del cráneo, conformando un intrincado paisaje de pliegues y surcos que definen una arquitectura básica duplicada en ambos hemisferios. Los aproximadamente 16 billones de neuronas de que consta la corteza cerebral se organizan también de forma similar en los dos hemisferios, mostrando una estructura laminar de seis capas de células orientadas perpendicularmente a su superficie. La parcelación de la corteza cerebral en regiones caracterizadas por su diferente cito-arquitectura, es decir, la composición celular del tejido nervioso visto al microscopio es también común a ambos hemisferios.

El mapa básico de la corteza cerebral fue establecido a principios del siglo XX por el neurólogo alemán Korbinian Brodmann. Empleando métodos de tinción que le permitían visualizar los diferentes tipos de neuronas, Brodmann llevó a cabo estudios *post mortem* con cerebros extraídos de cadáveres humanos y de otros primates. Los resultados de sus indagaciones, descritos en una monografía publicada en 1909, constituyen una aportación fundamental al desarrollo de la neurociencia, al haber permitido delinear el primer mapa del cerebro humano basado en criterios morfológicos. A partir de las

características citoarquitectónicas de diferentes regiones cerebrales, Brodmann definió 52 áreas corticales equivalentes u homólogas en cada hemisferio cerebral. Las áreas definidas por Brodmann no sólo se diferencian por su arquitectura celular, sino también por la función que desempeñan. Por ejemplo, el área 4, localizada en la región dorsal de los lóbulos frontales, por delante de la fisura central o de Rolando, se corresponde con la corteza motora primaria, que interviene en la planificación y ejecución de actos motores. Otras áreas corticales están implicadas en el procesamiento de estímulos de distintas modalidades sensoriales, conformando los diferentes sistemas perceptivos a través de los cuales nuestra mente tiene acceso a la rica y variada estimulación procedente del entorno. Por ejemplo, el área 17, situada en el extremo posterior de los lóbulos occipitales, se corresponde con la corteza visual primaria, encargada de procesar los componentes elementales de los estímulos visuales, mientras que el área 22, localizada en la zona superior de los lóbulos temporales, forma parte de la corteza auditiva.

FIGURA 1
Mapa cerebral de Brodmann



Vista esquemática del cerebro (A = lateral, B = medial). Los números corresponden a las diferentes regiones delimitadas por Brodmann en función de su distinta citoarquitectura.

Hemisferios externamente simétricos, mapas con parcelas y territorios similares a izquierda y derecha, una similar estructura laminar de la corteza cerebral... Pero ¿se corresponde esta simetría estructural con una identidad de funciones o está cada hemisferio especializado en la realización de diferentes tareas? En principio, una duplicidad funcional total no parece la solución más económica y eficaz para el diseño de un órgano que tiene a su cargo tantas y tan variadas misiones. De hecho, ni siquiera la semejanza estructural de los

hemisferios cerebrales es completa. Es más, es posible que un cerebro plenamente funcional requiera un cierto grado de asimetría. Trastornos de muy distinto tipo como el autismo, la esquizofrenia o la dislexia van asociados a patrones alterados de asimetría cerebral. Aunque por el momento no está claro cuál pueda ser el significado de estas alteraciones, es muy probable que estén relacionadas de algún modo con las causas de esos trastornos.

Pruebas de muy distinto tipo, que van desde las diferentes consecuencias del daño cerebral en uno u otro hemisferio a los resultados de los estudios de neuroimagen, muestran las diferencias a veces notables, a veces sutiles, entre las funciones desempeñadas por áreas equivalentes de uno y otro hemisferio. Sin embargo, esto no quiere decir que en nuestra cabeza convivan dos mentes diferentes regidas por lógicas contrapuestas. No hay un modo izquierdo y un modo derecho de pensar, aprender o conocer la realidad, ni dos cerebros independientes que requieran ser enseñados a convivir y entenderse. La realidad, de nuevo, es bastante más compleja de lo que los mitos populares nos dicen sobre el cerebro y de lo que quisieran hacernos creer los promotores de supuestas técnicas de entrenamiento mental basadas en una interpretación simplista y fantasiosa de la especialización hemisférica.

2. ¿Dos mentes y dos cerebros?

Uno de los mitos más persistentes y populares sobre el cerebro se refiere a la supuesta dicotomía entre las funciones de sus dos hemisferios. De acuerdo con este «mito de los dos cerebros», cada hemisferio operaría según principios claramente diferenciados que darían origen a dos modos complementarios y frecuentemente mal integrados de pensar, aprender y percibir la realidad. Tendríamos, por una parte, una mente lógica, lineal y racional que se expresa a través del lenguaje y otra intuitiva, creativa y emocional que se manifiesta mediante la expresión no verbal. La sede de la primera mente estaría en el hemisferio izquierdo, mientras que la de la segunda se hallaría situada en el derecho. El hemisferio izquierdo, por lo demás, tendría un conocimiento objetivo, analítico y descriptivo del mundo, mientras que el derecho sería la sede de la subjetividad, la intuición y la imaginación, facilitando un modo de

pensar más global, artístico y creativo. Y como los hemisferios quizá no hablan lo suficiente entre sí, se hace necesario promover ese diálogo mediante rutinas y técnicas especiales de aprendizaje a fin de lograr su integración y llevarnos a un grado superior de realización personal. Aunque esta descripción pueda parecer un tanto caricaturesca, no es más que una paráfrasis de la verborrea pseudocientífica que puede encontrarse en cientos de páginas web, libros de autoayuda y programas pedagógicos que nos proponen la adopción de métodos como el BrainGym©, un sistema que pretende fomentar la integración hemisférica a través de la práctica continuada de ejercicios motores completamente arbitrarios y sobre cuya eficacia no existe absolutamente ninguna evidencia.

Diferencias individuales: ¿el secreto está en los hemisferios?

El mito de los dos cerebros propone una explicación de las diferencias individuales y culturales supuestamente basada en los descubrimientos de la neurociencia. Según esta teoría, las personas diferimos en cuanto a cuál es nuestra mente predilecta o dominante, la que nos hace ser quien somos, marcando nuestro estilo psicológico y determinando el modo en que actuamos. O somos de hemisferio izquierdo o somos de hemisferio derecho. En las personas en quienes predomina el hemisferio izquierdo manda la razón, lo que las lleva a preferir actividades que requieren un pensamiento lógico y organizado. Por el contrario, las personas de hemisferio derecho se basan más en las emociones y la intuición, ven la realidad de forma más global («holística» es la palabra mágica) y son más creativas. Todo esto, claro está, influye sobre las actividades profesionales preferidas por cada uno. Los de cerebro izquierdo preferirán actividades más técnicas, como la mecánica, la ciencia o la ingeniería, mientras que los de sesgo derecho preferirán otras en las que puedan expresar sus emociones y dar rienda suelta a su creatividad. Todos sabemos que hay personas que parecen especialmente racionales y «cuadradas» y otras que se dejan llevar más por la fantasía y la intuición, unas que disfrutan con la ciencia y la técnica y otras que prefieren el arte. Nadie niega la existencia de estas diferencias individuales, ¡mucho menos los

psicólogos!, pero sí que podemos dudar muy seriamente de que su explicación tenga algo que ver con la inclinación de cada persona hacia el lado izquierdo o derecho de su cerebro.

Algunos han pretendido encontrar en los hemisferios cerebrales la explicación de los estilos de pensamiento característicos de distintas culturas. Según este modelo, el racional y pragmático Occidente estaría asociado a un predominio de las funciones del hemisferio izquierdo, mientras que el misterioso y espiritual Oriente se asimilaría a las funciones del hemisferio derecho. En la década de los setenta del pasado siglo, Joseph Bogen, uno de los neurólogos responsables de las primeras operaciones de cerebro dividido, llegó a conclusiones similares después de realizar una serie de estudios transculturales basados en el mito de los dos cerebros. En estos estudios se comparaba el rendimiento de miembros de distintas culturas en una serie de tareas que, supuestamente, permitían medir las diferentes capacidades de cada hemisferio cerebral. Según estas pruebas, los más inclinados al cerebro derecho eran los indios Hopi (una cultura nativa norteamericana) seguidos, por este orden, de las mujeres afroamericanas, los hombres afroamericanos, los blancos de zonas rurales y finalmente los blancos de zonas urbanas, en quienes definitivamente dominaba el hemisferio izquierdo. No es difícil discernir en estas conclusiones la influencia del mito romántico del buen salvaje. Cuanto más urbana y dependiente de la tecnología es una sociedad, cuanto más se distancia de un hipotético estadio inicial de plena comunión con la naturaleza, más domina el racional hemisferio izquierdo y más inhibido se encuentra el emocional hemisferio derecho. Esta ingenua visión rousseauiana se deja sentir también en algunas propuestas pedagógicas basadas en el mito del cerebro dual que siguen gozando de gran popularidad en nuestros días (ver Capítulo 5).

El mito de los dos cerebros es una manifestación más de una forma muy arraigada de pensar en nuestra cultura, difundida entre legos y especialistas y que caracteriza los procesos mentales en términos binarios, oponiendo lo consciente a lo inconsciente, lo racional a lo emocional, lo lógico a lo intuitivo, lo voluntario a lo involuntario... Un enfoque muy difundido en la psicología actual y popularizado en un libro del psicólogo y premio Nobel de Economía Daniel Kahneman, *Pensar despacio, pensar deprisa*, describe la

mente en términos de la interacción entre dos grandes categorías de procesos mentales. De un lado están los procesos rápidos, que son inconscientes, automáticos y sesgados hacia lo emocional. Estos procesos darían lugar al pensamiento «tipo 1». Del otro lado tenemos los procesos lentos, que son conscientes, racionales y deliberados y forman la base del pensamiento «tipo 2». No es difícil percibir la semejanza entre los sistemas de pensamiento rápido y lento y los dos estilos mentales que el mito de los dos cerebros atribuye a los hemisferios izquierdo y derecho. Sin embargo, las opiniones de Kahneman son notablemente más articuladas que las expresadas por los defensores del mito de los dos cerebros y, a diferencia de estas últimas, se basan en una larga tradición de investigación en psicología cognitiva a la que él mismo ha contribuido brillantemente. Por otra parte, Kahneman no pretende haber encontrado en los hemisferios cerebrales la sede de sus dos tipos de pensamiento y aclara expresamente que los sistemas 1 y 2 son «caracteres ficticios», metáforas que resultan convenientes como un primer paso para comprender la complejidad de la mente pero que nadie debería esperar localizar en distintas zonas del cerebro.

El mito y la realidad

Pero si las manifestaciones más extremas del mito de los dos cerebros son insostenibles a la luz de los conocimientos actuales de la neurociencia y la psicología, ¿de dónde procede entonces el mito?, ¿hay finalmente algo de cierto en la tan difundida idea del reparto de la razón y la intuición entre los lados izquierdo y derecho del cerebro?, ¿qué es lo que sabemos realmente sobre las semejanzas o diferencias entre los dos hemisferios cerebrales? Como siempre que se trata del cerebro, responder a estas preguntas no es cosa fácil y para hacerlo es preciso indagar en múltiples direcciones, contrastando datos procedentes de distintos campos de investigación que finalmente dibujan un panorama muchos más complejo y variado que la supuesta dualidad entre la razón del hemisferio izquierdo y la intuición del derecho.

El principal error en que incurre el mito de los dos cerebros es considerar que cada hemisferio opera de forma global, como una unidad que obedece a

unos mismos principios que serían diferentes a uno y otro lado del cerebro. Lo cierto es que cada hemisferio lleva a cabo un sinfín de funciones que resultan de la continua interacción entre múltiples sistemas de redes neuronales profusamente interconectados y que operan con un distinto grado de especialización. En el nivel más especializado se encuentran las diferentes cortezas sensoriales, los sistemas funcionales encargados del análisis o procesamiento perceptivo en ambos lados del cerebro. Cada uno de esos sistemas responde exclusivamente a los estímulos de una determinada modalidad sensorial, como la vista o la audición. Un segundo tipo de sistemas especializados localizados igualmente en zonas homólogas de ambos hemisferios son los encargados del control motor, es decir, el conjunto de procesos implicados en la planificación, organización y ejecución de los actos motores. Finalmente, basándose en la información proporcionada por los sistemas de análisis sensorial, un número indefinido de sistemas distribuidos por los distintos lóbulos cerebrales intervienen en un amplio abanico de funciones. Entre ellas se encuentran algunas relativamente específicas como la orientación espacial o la memoria de corto plazo y otras más complejas y genéricas como la memoria autobiográfica, el pensamiento conceptual, la conciencia de uno mismo o la regulación de las emociones. Dentro de este intrincado panorama resulta imposible extraer un conjunto de principios generales diferenciados para cada hemisferio y de los cuales emerjan las dos mentes alternativas postuladas por el mito de los dos cerebros.

Existe, por supuesto, una diferencia crucial y bien conocida entre las funciones realizadas por cada mitad del cerebro y es la lateralización preferente del lenguaje en el hemisferio izquierdo. De acuerdo con este hecho ampliamente documentado, sí habría un fundamento para considerar al hemisferio izquierdo como hemisferio lingüístico preferente. En efecto, los estudios más recientes muestran que el aprendizaje y uso del lenguaje no depende únicamente de las dos áreas lingüísticas tradicionales identificadas por Broca y Wernicke, sino que se basa en el trabajo coordinado de múltiples sistemas distribuidos en diferentes regiones del hemisferio izquierdo.

Pruebas de muy distinto tipo han demostrado la existencia de especializaciones o dominancias hemisféricas en múltiples funciones cognitivas. Por ejemplo, regiones específicas del hemisferio derecho son más

eficaces en el reconocimiento de caras, el procesamiento visoespacial, la estimación de duraciones temporales o el procesamiento basado en los aspectos más globales de las formas visuales. Por el contrario, el hemisferio izquierdo es superior en el reconocimiento de palabras, el cálculo matemático o el procesamiento visual basado en detalles. Sin embargo, estas especializaciones son más de grado que absolutas. De hecho, pequeñas variaciones en la tarea pueden hacer que el hemisferio aparentemente dominante para una determinada función deje de serlo. Por otra parte, que un hemisferio sea más eficaz en una determinada tarea no significa necesariamente que la función correspondiente dependa exclusivamente de él ni que en ese hemisferio sea la sede del sistema cerebral encargado de la misma.

3. Trabajando en equipo

El cuerpo calloso, un grueso haz de más de doscientos millones de fibras nerviosas y unos diez centímetros de longitud, es la mayor comisura cerebral, la principal vía de comunicación entre sus dos hemisferios. Mientras que las fibras de la sección posterior del cuerpo calloso intervienen en la integración de la información sensorial procesada en cada hemisferio, las de la sección anterior hacen posible la coordinación motora y el intercambio de información al servicio de diversos procesos cognitivos. Una de las promesas de las técnicas comerciales de entrenamiento cerebral es que su práctica promueve la reconexión y coordinación interhemisférica. Tal pretensión es una absoluta falacia. Salvo en casos extremos en los que los haces de fibras nerviosas que conectan ambos hemisferios han resultado afectados por alguna patología o han sido seccionados quirúrgicamente para evitar la propagación de focos epilépticos, los dos hemisferios están en constante comunicación. El funcionamiento normal del cerebro se basa precisamente en el diálogo e intercambio constante de información entre sus múltiples sistemas funcionales, incluidos por supuesto sus dos hemisferios. Algo que podemos ver ya en el modo en que el cerebro lleva a cabo dos de sus más importantes funciones, organizar y controlar los actos motores e informarnos de lo que ocurre a

nuestro alrededor.

Control motor

Un buen ejemplo de cómo la conducta resulta de la actividad coordinada de ambos hemisferios cerebrales es el del control motor. La coordinación interhemisférica es un requisito fundamental de la conducta motora, desde la realización de conductas cotidianas como caminar, abrocharnos la camisa o escribir con el teclado del ordenador, hasta destrezas de enorme complejidad como las que vemos ejecutar con aparente facilidad a un pianista de *jazz* o un gimnasta de élite. Distintas secciones de las cortezas motoras de ambos hemisferios, cada uno de ellos controlando el movimiento de las extremidades del lado opuesto del cuerpo, desarrollan funciones complementarias en el control de la conducta. En el camino hasta su destino final en la musculatura periférica, las vías nerviosas que parten de las cortezas motoras izquierda y derecha cruzan al lado opuesto del cuerpo. Así, las órdenes para mover las extremidades de cada lado del cuerpo parten de la corteza motora del hemisferio opuesto, lo que se conoce como lateralización cruzada. Es de la continua coordinación de ambas mitades del cerebro de donde surge la conducta fluida que es característica de la ejecución de destrezas motoras bien consolidadas a base del aprendizaje y la práctica intensiva. Por tanto, sin necesidad de recurrir a técnicas de dudosa eficacia, el diálogo entre las dos mitades de nuestro cerebro está garantizado simplemente siguiendo nuestras rutinas cotidianas y, si tenemos el tiempo y la motivación suficientes, aprendiendo nuevas destrezas.

Percepción a izquierda y derecha

La lateralización cruzada que se observa en los sistemas de control motor es también característica de los sistemas sensoriales de la corteza cerebral. En el sistema visual, parte de las vías nerviosas que transmiten la información de la

retina al cerebro cruzan al hemisferio contralateral al ojo estimulado. El cruce de las vías procedentes de cada ojo tiene lugar en el quiasma óptico, situado en la base del cerebro. Debido a estas proyecciones cruzadas, parte de la información procedente de cada ojo es procesada por la corteza contralateral, de modo que para reconstruir la escena visual la información procesada en cada uno de los hemisferios debe ser combinada para formar una imagen fusionada completa. El trabajo conjunto de ambos hemisferios es fundamental para aprovechar las ventajas de la visión binocular. Una de ellas es la visión en profundidad, que nos permite ver nuestro entorno en tres dimensiones. Debido a la diferente posición de cada ojo, existe una pequeña disparidad entre la información proporcionada por cada uno de ellos. Aprovechando esa disparidad y combinando la información procedente de ambos ojos, el cerebro tiene acceso a una precisa información de profundidad que permite construir una imagen tridimensional del entorno visual. La ausencia de este mecanismo, denominado estereopsis, supondría ver la realidad plana, como si fuera una fotografía en dos dimensiones.

De modo similar a lo que ocurre en el sistema visual, las fibras que transmiten al cerebro la estimulación acústica procedente de cada oído cruzan también al hemisferio opuesto. El destino final de la información transmitida por esas fibras cruzadas es la corteza auditiva contralateral al oído estimulado. Por ello, de forma parecida a lo que ocurre en el sistema visual, cada hemisferio tiene acceso a la información auditiva procedente del oído opuesto. Dado que ambas cortezas auditivas, izquierda y derecha, reciben también fibras procedentes del oído ipsilateral, las lesiones que afectan sólo a uno de los hemisferios no tienen efectos dramáticos sobre la percepción auditiva. Sin embargo, hay algunos aspectos que dependen de la comunicación interhemisférica que sí resultan afectados por estas lesiones. A efectos de localizar la procedencia de un sonido, el cerebro se vale de las diferencias interaurales (diferencias entre uno y otro oído) en intensidad y tiempo de llegada del sonido. Si la fuente de sonido está situada en el lado izquierdo, la intensidad percibida será mayor en el oído más próximo, desde donde la información llegará al cerebro unos milisegundos antes que la procedente del oído opuesto. La estimación de estas diferencias requiere la combinación de la información proporcionada por ambas cortezas auditivas, otro ejemplo más de

cómo el funcionamiento habitual del cerebro, aun en sus aspectos más básicos, requiere la colaboración interhemisférica.

Inhibición mutua

Aunque pueda resultar paradójico, la coordinación entre los hemisferios cerebrales requiere a veces que un hemisferio inhiba la acción del otro. Imaginemos qué ocurriría si cuando queremos agarrar una taza de café con la mano derecha se pusieran en funcionamiento las cortezas motoras de ambos lados del cerebro, ordenando moverse a las dos manos al mismo tiempo. A fin de que esto no ocurra, la actividad en la corteza motora correspondiente a la mano activa (la izquierda, en este caso) va acompañada de la inhibición de la corteza contralateral, de modo que no se produzca una interferencia entre los movimientos evocados en ambas manos. Este sencillo ejemplo muestra bien a las claras que el grado en que el cerebro funciona de forma lateralizada, con un hemisferio predominando sobre el otro, depende de la tarea concreta que estemos realizando. Las tareas basadas en la coordinación bimanual, como coser o tocar un instrumento musical, requieren la acción igualmente coordinada de ambos hemisferios. Sin embargo, la ejecución precisa y eficaz de conductas que implican a una sola mano demanda un funcionamiento claramente lateralizado que evite movimientos inútiles en el miembro no utilizado.

Desde el punto de vista neuroanatómico, el grado de conectividad efectiva y, por tanto, de coordinación entre ambos hemisferios cerebrales, depende del tamaño del cuerpo calloso. Aunque el número de fibras que forman esta comisura cerebral viene fijado de nacimiento, su desarrollo no finaliza hasta llegada la adolescencia. En el curso del desarrollo individual, el grosor del cuerpo calloso aumenta, debido fundamentalmente al incremento de la mielinización (la mielina es la capa de tejido graso que recubre los axones de las células nerviosas, favoreciendo así su eficacia conductora). La mala noticia es que el cuerpo calloso tiende a atrofiarse con la edad. Quizá esta sea la causa de que en las personas mayores disminuya la eficacia de los mecanismos de inhibición interhemisférica, lo que resulta finalmente en una

menor asimetría funcional. Pero no hay que alarmarse. Lo que en algunos casos puede ser perjudicial en otros puede suponer una ventaja. Algunos estudios indican que el funcionamiento cerebral menos asimétrico en las personas mayores podría compensar algunos de los déficits cognitivos asociados a la edad. Por ejemplo, se sabe que la actividad neuronal en la corteza prefrontal, una región cerebral implicada en multitud de procesos cognitivos complejos, es menos asimétrica e independiente en los mayores que en los jóvenes. Este cambio, que puede suponer una desventaja al realizar tareas que requieren la inhibición de uno de los hemisferios, permite sin embargo compensar algunos déficits cognitivos asociados a la edad. Concretamente, se ha observado que las personas mayores que rinden mejor en algunas tareas de memoria, hasta el punto de manifestar una actuación similar a la de los jóvenes, son precisamente las que muestran un patrón de actividad prefrontal más simétrico mientras realizan la prueba. Probablemente esto indica que las personas mayores aprenden a compensar los déficits naturales asociados a la edad con nuevas estrategias basadas en una mayor colaboración interhemisférica.

Apreniendo a colaborar

Como ya se ha dicho anteriormente, la normal ejecución de los comportamientos que realizamos a diario es ya una garantía de que las dos mitades de nuestro cerebro se entienden y colaboran. Pero ¿podemos hacer algo para promover aún más esa coordinación? Aunque no tenemos que ser atletas de élite, convertirnos en grandes concertistas de piano ni recurrir a dudosas gimnasias cerebrales, sí parece que el aprendizaje y la práctica continuada de destrezas complejas altera de forma efectiva el equilibrio entre los dos hemisferios. En realidad, incluso cosas tan simples como no utilizar una mano durante unas horas puede inducir alteraciones en el equilibrio entre las regiones encargadas del control motor en cada uno de los hemisferios. Por ejemplo, la inmovilización de una de las manos durante un periodo de doce horas reduce temporalmente la excitabilidad de las cortezas motora y somatosensorial del hemisferio contralateral.

Un buen ejemplo de coordinación bimanual es la interpretación musical. Tocar decentemente el piano, la guitarra o un instrumento de viento requiere un alto grado de destreza manual y de coordinación entre los movimientos de ambas manos. Aun al nivel de ejecución más elemental, tocar la guitarra requiere el control independiente de las dos manos. Una de ellas (la izquierda en las personas diestras, la derecha en las zurdas) se emplea para colocar los dedos sobre el mástil de la manera adecuada para producir distintos acordes, la otra para pulsar las cuerdas. El nivel de sofisticación y complejidad puede aumentar hasta límites insospechados cuando un buen intérprete ejecuta una pieza compleja que implica la reproducción de líneas melódicas y elaboradas armonías o cuando improvisa sin más acompañamiento que el de su propio instrumento. No hay más que fijarse en la pasmosa destreza con que los buenos guitarristas flamencos recorren de arriba abajo el mástil de su instrumento produciendo bellísimas y complejas filigranas sonoras. Son muchos los estudios que muestran que la práctica de un instrumento y el aprendizaje y uso fluido de la lectura musical, sobre todo cuando se inicia a una edad relativamente temprana, producen notables cambios en el cerebro. Uno de ellos es precisamente el aumento en el tamaño del cuerpo calloso. Paralelamente a este cambio estructural, se ha observado que el cerebro de los músicos funciona de un modo más simétrico. Por ejemplo, mientras que la atención espacial depende normalmente de sistemas localizados en el hemisferio derecho, los músicos tienden a utilizar ambos hemisferios para localizar la posición de los objetos en el espacio. Esta mayor simetría en el cerebro musical se manifiesta también en un aspecto tan básico como la velocidad de comunicación entre ambos hemisferios. Normalmente, la transmisión de información es más rápida del hemisferio derecho al izquierdo que en la dirección contraria. A diferencia de este patrón más común, los músicos tienden a mostrar una transmisión igual de rápida en ambas direcciones, lo que probablemente redunde en una coordinación interhemisférica más eficaz y equilibrada.

Los cambios en la simetría hemisférica observados en músicos experimentados son una clara muestra de los efectos de la plasticidad neuronal, es decir, la capacidad del cerebro para modificar su funcionamiento y estructura a partir de la experiencia. La realidad en que se basa el mito de

muchas de las técnicas propuestas para entrenar al cerebro y favorecer la coordinación interhemisférica es precisamente la existencia de tal plasticidad. Sin embargo, no basta con nombrar la plasticidad neuronal e incluir fotografías coloristas del cerebro en los prospectos publicitarios y páginas web que anuncian esos productos milagrosos. Antes que nada, es preciso demostrar que los métodos propuestos se basan en una correcta comprensión de los hallazgos científicos y, por supuesto, que su eficacia ha sido corroborada por estudios bien controlados, algo que por desgracia falla clamorosamente en la mayoría de los casos.

4. Enseñanzas del cerebro dividido

En febrero de 1962, William Jenkins, un veterano paracaidista norteamericano de la Segunda Guerra Mundial, fue sometido a una operación de neurocirugía con el objeto de aliviar una grave epilepsia que no remitía a pesar de un largo tratamiento farmacológico. Hallándose en combate, Jenkins había sido descubierto tras aterrizar con su paracaídas cerca de las líneas enemigas. Un fuerte culatazo en la cabeza, propinado por un soldado alemán, fue la causa más probable de los ataques epilépticos que comenzó a sufrir al volver del frente. La operación que se le realizó consistió en seccionar el cuerpo calloso. Mediante esta radical intervención se pretendía evitar la propagación a todo el cerebro de la actividad neuronal incontrolada causante de las crisis convulsivas. El tratamiento, que ya había sido aplicado con éxito a otros pacientes, logró también reducir notablemente la gravedad de las crisis epilépticas de Jenkins. Basándose en los resultados de diversas pruebas posoperatorias, los responsables de intervenciones anteriores habían llegado a la conclusión de que, a pesar de lo radical del procedimiento, la comisurectomía no tenía efectos visibles sobre la conducta o las capacidades intelectuales de los pacientes, una conclusión que finalmente demostró no ser del todo correcta.

¿Dos mentes en un cerebro?

Michael Gazzaniga, un joven psicobiólogo del Caltech (Instituto Tecnológico de California), trabajaba en aquel momento bajo la supervisión de Roger Sperry, una de las grandes figuras de la neurobiología y premio Nobel en 1981. Utilizando ingeniosos métodos de evaluación conductual, Gazzaniga logró demostrar que la comisurotomía alteraba de modo sutil pero significativo el normal funcionamiento del cerebro. A partir de entonces, los estudios con pacientes de cerebro dividido proporcionaron datos fundamentales sobre las diferencias funcionales entre ambos hemisferios y el modo en que se complementan, planteando fascinantes interrogantes sobre la naturaleza de la mente y la conciencia. Como expresaba el propio Sperry al describir los resultados de aquellos primeros estudios en el discurso pronunciado en la entrega del Nobel «cada hemisferio desconectado actuaba como si no fuese consciente de los pensamientos del otro... En otras palabras, cada mitad del cerebro parecía poseer un dominio cognitivo independiente, con sus particulares experiencias perceptivas y sus propias capacidades de memoria y aprendizaje, todas ellas aparentemente ignorantes de los procesos equivalentes que tenían lugar en el otro hemisferio»¹⁵.

Una consecuencia indeseada de la enorme difusión alcanzada por los estudios con pacientes de cerebro dividido fue la popularización de ideas simplistas e inexactas sobre la especialización hemisférica. Estas ideas captaron eficazmente la imaginación del público y dieron lugar al nacimiento del mito de los dos cerebros. A día de hoy y a pesar del considerable avance de la psicología cognitiva y las neurociencias, el mito sigue vivo y continúa siendo una de las falsas ideas sobre el cerebro más difundidas y resistentes al cambio. En una serie de encuestas realizadas a educadores de países tan diferentes como Inglaterra, China y Turquía, entre el 70 y el 90% de los encuestados decían creer que las diferencias individuales en el grado de dominancia del hemisferio izquierdo o derecho explicaba las diferencias en el aprendizaje y rendimiento de los alumnos y que la coordinación interhemisférica se podía entrenar mediante cortas sesiones de ejercicios motores.

Las pruebas psicológicas llevadas a cabo en pacientes con cerebro

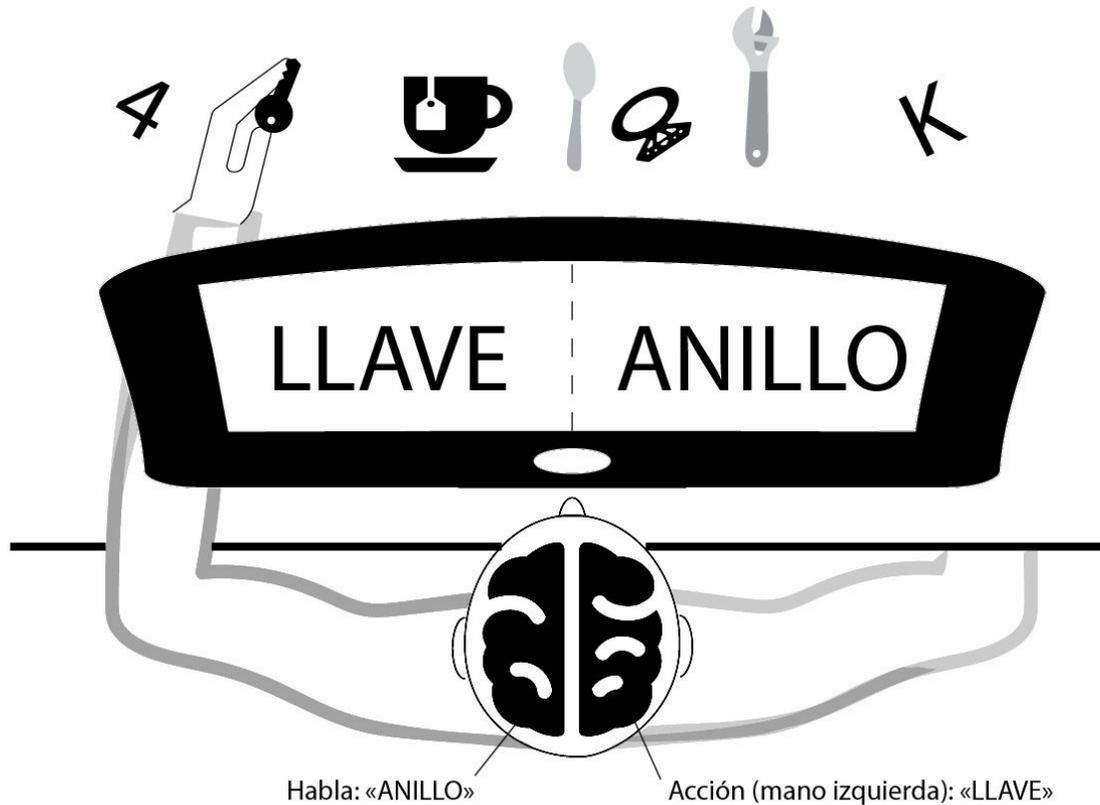
dividido han permitido observar llamativas disociaciones entre los dos hemisferios cerebrales que, tal como afirmaba Gazzaniga, dan la impresión de dos mentes separadas conviviendo en el interior de un mismo individuo. Un procedimiento frecuentemente empleado en los estudios de cerebro dividido consiste en la presentación lateralizada de estímulos visuales. En este procedimiento se le pide al sujeto que mantenga la vista fija en un punto localizado en el centro de una pantalla de ordenador. Mientras tanto, a uno y otro lado de ese punto se van presentando durante unas fracciones de segundo los nombres de distintos objetos que el sujeto debe leer en voz alta. Debido a la lateralización cruzada de la representación visual (recordemos que cada hemisferio recibe información del ojo contralateral), las palabras presentadas a la derecha del punto de fijación son procesadas por la corteza visual izquierda. Al contrario, las presentadas a la izquierda son procesadas por el hemisferio derecho.

Si utilizando el procedimiento recién descrito se le presenta a un paciente con cerebro dividido la palabra «ANILLO» a la derecha del punto de fijación, el sujeto no tendría dificultad alguna para leerla en voz alta (recordemos que en este caso la imagen sería procesada por el hemisferio izquierdo). Sin embargo, si ahora se presentase la palabra «LLAVE» a la izquierda del punto de fijación, el sujeto sería incapaz de leerla (en este caso, la información sería procesada por el hemisferio derecho). ¿Acaso el objeto no existe para el hemisferio derecho? No exactamente. Si en vez de pedirle que lea en voz alta la palabra se le diese a escoger entre varios objetos aquel que se corresponde con ella, el sujeto sería perfectamente capaz de hacer la elección correcta y escogería la llave usando su mano izquierda. Esto indica que sabe perfectamente cuál es la palabra que acaba de leer. Aunque ambos hemisferios conocen a su modo lo que han visto no se lo pueden comunicar entre sí. Cada uno responde con sus propios medios, el izquierdo emitiendo la palabra correspondiente, el derecho señalando con la mano que controla (la izquierda) cuál es el objeto apropiado. El reconocimiento visual de la palabra sólo puede traducirse verbalmente cuando la información es procesada por el hemisferio izquierdo, que es el dominante para el lenguaje. Sin embargo, cuando la imagen es proyectada al hemisferio derecho, el reconocimiento debe expresarse por medios no verbales y empleando la mano controlada por ese

lado del cerebro.

FIGURA 2

Presentación lateralizada de estímulos en pacientes con cerebro dividido



En el procedimiento de presentación lateralizada, los estímulos (palabras, en este caso) se presentan a izquierda o derecha del punto medio de la pantalla. Cuando la palabra es procesada por el hemisferio izquierdo el paciente de cerebro dividido puede nombrarla. A pesar de que cuando es procesada por el hemisferio derecho no pueda nombrarla, sí que es capaz de escoger de entre varios objetos el que se corresponde con la palabra (una llave, en este caso).

Disociaciones similares a las recién descritas se han observado también en pacientes de cerebro dividido empleando estímulos de modalidades sensoriales distintas a la visual. Por ejemplo, los objetos reconocidos al tacto con una mano no son reconocidos como ya percibidos cuando se palpan con la mano opuesta, ni los olores percibidos a través de una de las fosas nasales son reconocidos por la otra. Es como si cada hemisferio tuviese su propio ámbito de conocimiento, ignorando por completo qué es lo que ocurre en el otro. Por supuesto, esto no ocurriría en un cerebro normal en el que la información

podiera transitar libremente de uno a otro hemisferio a través del cuerpo calloso.

Observaciones como las descritas en el párrafo anterior plantean la pregunta de si en los pacientes con cerebro dividido existen dos mentes con dos conciencias independientes. Esta cuestión tiene profundas implicaciones filosóficas porque plantea la posibilidad de que lo que experimentamos subjetivamente como una conciencia única e individual sea en realidad el resultado de la fusión de múltiples conciencias que funcionan (o pueden llegar a hacerlo) por separado. La unidad de la conciencia sería, según esto, una ficción. Pero lo cierto es que ni siquiera los pacientes con cerebro dividido tienen la sensación de que en su interior convivan múltiples conciencias. A pesar de que estas personas pueden llevar a cabo una vida relativamente normal sin dar la sensación de experimentar ningún tipo de conflicto entre identidades, los ingeniosos experimentos realizados con su colaboración han producido resultados sorprendentes que ponen en cuestión las ideas tradicionales acerca del funcionamiento de nuestra mente. Una interesante teoría sobre el modo en que los dos hemisferios cerebrales colaboran para producir la sensación de una conciencia unificada ha sido propuesta por el propio Gazzaniga. Es la llamada teoría del intérprete izquierdo.

5. Un intérprete a la izquierda

Basándose en algunas de sus observaciones en pacientes con cerebro dividido, Michael Gazzaniga ha propuesto una llamativa teoría acerca del origen de nuestra experiencia consciente. La teoría postula la existencia de un sistema funcional en el hemisferio izquierdo que actuaría como una especie de «intérprete» interior de lo que hace el cerebro. Veamos un ejemplo del tipo de observaciones que han dado pie a esta original teoría. Utilizando el procedimiento de presentación lateralizada de imágenes, se le mostró a JW, un paciente con cerebro dividido, la imagen de un campanario en su hemicampo visual izquierdo. Como ya sabemos, la imagen así presentada es procesada por el hemisferio derecho. A continuación, se le pidió a JW que indicase con su mano izquierda cuál de cuatro imágenes de instrumentos musicales estaba

relacionada con la presentada en la pantalla. JW señaló correctamente la fotografía que representaba una campana. Finalmente, se le pidió que explicase por qué había elegido precisamente esa fotografía. La sorprendente respuesta fue: «Bueno, debe ser que he oído sonar una campana mientras venía al laboratorio». JW, o más exactamente el JW del hemisferio izquierdo, no parecía ser consciente de las razones de su elección y en ausencia de ese conocimiento construyó automáticamente una explicación plausible... ¡pero completamente falsa! De nuevo, un hemisferio parece ignorar por completo las razones de lo que el otro ordena. Pero, al intentar comprender lo que está viendo, ese hemisferio acaba actuando como un intérprete de lo que el otro ha hecho, sacándose de la manga una explicación reconfortante pero que en nada se corresponde con la realidad inmediata.

Según Gazzaniga, el llamativo comportamiento de pacientes como JW no es una simple rareza de laboratorio. Por el contrario, estos comportamientos ejemplifican de modo bien gráfico la forma en que nuestro cerebro da sentido a la realidad. No damos sentido a nuestra experiencia consciente basándonos simplemente en una lectura objetiva de los datos proporcionados por los sentidos. Esos datos han de ser, además, interpretados e integrados en una cadena causal que explique cómo unos sucesos están relacionados con otros. El cerebro humano no parece conformarse con una lectura literal de la información procedente del entorno. Necesita explicarla, encontrar orden, extraer secuencias y regularidades... ¡o inventárselas! En busca de tal explicación, el cerebro construye teorías que proponen explicaciones plausibles a la luz de la experiencia previa o de los particulares prejuicios y sesgos de su propietario. Aunque probablemente JW no había oído aquel día campanas en su camino al laboratorio, la explicación entraba dentro de lo posible. Para él, la respuesta que dio al experimentador le resultaba más plausible a la luz de su experiencia previa que otra que dijera que la conducta de seleccionar la campana le había sido dictada por una voz divina. Y el hecho de que fuese capaz de mantener su explicación sin darse cuenta de su falsedad fue sin duda atribuible a la desconexión entre los dos hemisferios de su cerebro.

Un caso extremo de falsa creencia se observa en pacientes neurológicos con daño cerebral que afecta a ciertas regiones del hemisferio derecho. Estos

pacientes creen firmemente en interpretaciones totalmente inverosímiles de la realidad, como que un ser querido es en realidad un impostor que ha suplantado su identidad. Anomalías como éstas son ejemplos de confabulación, es decir, interpretaciones del entorno y de la propia conducta que no se corresponden con la realidad y que el paciente genera de forma espontánea, sin conciencia alguna de su falsedad. La confabulación puede surgir a causa de la afectación de funciones dependientes del hemisferio derecho, como el autorreconocimiento, la sensación de familiaridad o la capacidad para estimar la relación entre uno mismo y el entorno. Podemos suponer que en un cerebro normal las hipótesis del intérprete del hemisferio izquierdo son constantemente contrastadas con la realidad e integradas con la información proporcionada por los sistemas complementarios del hemisferio derecho. En los pacientes con daño cerebral derecho, en cambio, la anulación de las funciones de él dependientes dejaría totalmente libre al intérprete del hemisferio izquierdo, sin el contrapeso necesario para contrastar sus hipótesis con la realidad. Volviendo al caso de JW podemos suponer que, en ausencia de una adecuada integración entre los sistemas de ambos hemisferios, era capaz de mantener las explicaciones generadas por su hemisferio izquierdo sin llegar a darse cuenta de su falsedad.

Aunque la teoría del intérprete izquierdo es sugerente y original, no deja de ser una de varias explicaciones posibles del modo en que los hemisferios cerebrales colaboran para dar origen a nuestra experiencia consciente. Por una parte, se han propuesto explicaciones alternativas que son muy críticas con la idea de una conciencia independiente en el hemisferio izquierdo. Por otra, no hay datos que permitan identificar al supuesto intérprete del hemisferio izquierdo con una red neuronal o una localización neuroanatómica específicas. De momento, la idea del intérprete izquierdo debe tomarse como una metáfora provisional que permite vislumbrar algunas características de un fenómeno psicológico tan complejo como la experiencia consciente. Por ejemplo, que la aparente unidad de la conciencia o la identidad personal podría ser una ilusión y que en realidad esos fenómenos mentales son, de nuevo, el producto de múltiples procesos a los que no tenemos acceso consciente.

6. Lateralización del lenguaje

El ejemplo más notable y mejor estudiado de asimetría funcional en el cerebro humano es sin duda el del lenguaje. Por regla general, nuestra capacidad de hablar y de comprender el lenguaje depende de redes neuronales localizadas en el hemisferio izquierdo. Esto es así para aproximadamente el 95% de las personas diestras y para alrededor del 75% de las zurdas. El resto de las personas muestran un patrón atípico de lateralización derecha o bien son ambidextras, lo que significa que las diferentes funciones lingüísticas se reparten entre ambos hemisferios. Por esta razón, el hemisferio izquierdo es considerado como el hemisferio «dominante» para el lenguaje.

Un hemisferio ilustrado

La especialización lingüística del hemisferio izquierdo fue demostrada por vez primera por el médico francés Paul Broca (1824-1880). Sus estudios *post mortem* del cerebro de pacientes con trastornos del habla demostraron la presencia de lesiones en una región del lóbulo frontal izquierdo conocida desde entonces como área de Broca. Esta área se halla implicada principalmente en la producción del lenguaje, incluida la articulación de los sonidos hablados y la correcta programación del orden de las palabras. El área de Broca se halla conectada a través de varios haces de fibras nerviosas con otra región cerebral situada en la zona superior del lóbulo temporal izquierdo y relacionada a su vez con la comprensión del lenguaje hablado y escrito. Esta región cerebral recibe el nombre de área de Wernicke, por el médico y neurólogo alemán que primero describió los efectos de su lesión sobre las capacidades lingüísticas, que son notablemente diferentes de los producidos por la lesión del área de Broca. La descripción por Broca y Wernicke de los diferentes trastornos del lenguaje consecuentes a la lesión de distintas regiones cerebrales marca el inicio del estudio científico de las relaciones entre el cerebro y la cognición y es el primer antecedente de la moderna neurociencia cognitiva. En un sentido más restringido, estos estudios

pioneros proporcionaron el primer indicio de la existencia en el hemisferio izquierdo de una red de sistemas interconectados cuya colaboración permite el surgimiento de una de las más complejas y avanzadas facultades de la mente humana.

Las dificultades del habla o la comprensión del lenguaje causadas por lesiones cerebrales reciben el nombre genérico de afasia. Los infartos o accidentes cerebrovasculares debidos a la oclusión de la arteria cerebral media son la causa más común de este trastorno neuropsicológico. La interrupción del flujo sanguíneo a las regiones del hemisferio izquierdo implicadas en la producción del habla y la comprensión del lenguaje produce alteraciones del lenguaje cuyo patrón preciso varía dependiendo de la extensión y localización exacta de la lesión. Por el contrario, lesiones similares en el hemisferio derecho no alteran en la mayoría de los casos la función lingüística o lo hacen de manera mucho más sutil. Las personas afectadas por lesiones del hemisferio izquierdo pueden experimentar dificultades para encontrar las palabras necesarias para construir una frase, ser incapaces de pronunciarlas o no lograr comprender correctamente lo que otros le dicen. Estudios con técnicas de neuroimagen estructural, que permiten visualizar detalladamente los efectos de la lesión cerebral, han permitido identificar, además de las tradicionales áreas lingüísticas, múltiples regiones del hemisferio izquierdo cuya lesión puede afectar preferentemente a uno u otro aspecto de la comprensión del lenguaje, produciendo, por ejemplo, una dificultad específica para la comprensión de palabras aisladas o para la comprensión de frases. El hemisferio izquierdo tiene también un papel esencial en la lectura. Por ejemplo, el procesamiento visual de las palabras al leer un texto escrito depende de una pequeña región localizada en la zona inferior de la corteza temporal izquierda, denominada área de la forma visual de las palabras. Esta especialización no está determinada de antemano, sino que surge en el curso del proceso de aprendizaje de la lectura a través del cual se establece la correspondencia entre grafemas y fonemas, es decir, las unidades básicas que forman las palabras escritas y las palabras habladas.

La evidencia sobre la lateralización izquierda del lenguaje no sólo procede de las observaciones realizadas en personas con daño cerebral. Una herramienta que ha proporcionado valiosos datos sobre esta cuestión es el

llamado test de Wada¹⁶, una prueba que permite determinar cuál es el hemisferio dominante para el lenguaje en pacientes a quienes se va a practicar una operación de neurocirugía con la finalidad de extirpar tumores o focos epilépticos. En las personas con dominancia izquierda, la anestesia del hemisferio izquierdo produce una afasia transitoria, que se manifiesta en dificultades en el habla y la comprensión del lenguaje. Una técnica de localización más moderna y menos invasiva es la sonografía Doppler transcraneal, que permite medir la velocidad del flujo sanguíneo en las arterias cerebrales. Dada la estrecha conexión entre actividad neuronal y hemodinámica, la sonografía permite estimar los cambios en la actividad de distintas áreas cerebrales durante la realización de diferentes tareas a partir de la medición de la velocidad del flujo sanguíneo. Comparando los cambios en la velocidad del flujo sanguíneo en ambos hemisferios, se ha corroborado la lateralización preferente de las funciones lingüísticas en el hemisferio izquierdo. En la mayoría de las personas, tareas lingüísticas sencillas, como leer letras presentadas en una pantalla de ordenador o pronunciar palabras, van acompañadas de un mayor aumento de la velocidad del flujo sanguíneo en el hemisferio izquierdo que en el derecho.

Las técnicas de neuroimagen funcional empleadas en estudios con personas sanas demuestran igualmente la especialización del hemisferio izquierdo en las funciones lingüísticas. En estos estudios se registra la actividad cerebral del participante mientras realiza tareas cuidadosamente diseñadas para evaluar distintos aspectos de la producción y la comprensión lingüísticas. Una conclusión general es que la alta competencia de los humanos adultos para usar y comprender el lenguaje se basa en la coordinación de múltiples procesos de distinto nivel que abarcan desde el control preciso de los músculos que intervienen en la fonación o la rápida decodificación de los sonidos del habla a la programación de frases sintácticamente correctas, la lectura de palabras o la comprensión de mensajes lingüísticos complejos. El panorama que surge de estos estudios dista mucho del modelo clásico de dos grandes sistemas lingüísticos claramente definidos, las áreas de Broca y Wernicke, y se asemeja más a un complejo mosaico de múltiples sistemas interconectados trabajando de forma coordinada. Así, un estudio meta-analítico publicado en el año 2006 y basado en 129 estudios de neuroimagen

publicados en años anteriores, identificó en el hemisferio izquierdo tres redes neuronales asociadas a los aspectos fonológico, semántico y sintáctico del lenguaje y localizadas respectivamente en las cortezas frontal, temporal y parietal inferior del hemisferio izquierdo. A su vez, cada una de esas redes principales contiene múltiples subáreas encargadas de funciones más específicas relacionadas con la producción o la comprensión del lenguaje.

El complemento derecho

La dominancia del hemisferio izquierdo en las funciones lingüísticas es un hecho bien establecido, pero ¿es entonces el derecho un hemisferio mudo e iletrado? Lo cierto es que actualmente existen pruebas de que la mitad derecha de nuestro cerebro desempeña un importante papel en ciertos aspectos de la comprensión lingüística, sobre todo aquellos relacionados con los aspectos pragmáticos del lenguaje, es decir, la comprensión del sentido de los mensajes en función del contexto y las intenciones del hablante. Un ejemplo es la comprensión del lenguaje metafórico o figurado. Comparemos las frases «los inversores están comprando muchas casas antiguas» y «los inversores son aves de rapiña». A pesar de referirse al mismo hecho, cada una de las expresiones lo describe de forma distinta y con implicaciones bien diferentes. En el primer caso se trata de un relato puramente objetivo que puede comprenderse perfectamente atendiendo a su significado literal. Si nos atuviésemos al sentido literal de la segunda frase deberíamos creer que los inversores sobrevuelan realmente el centro de la ciudad y se llevan las casas entre sus garras. Pero una correcta interpretación requiere ir más allá del significado literal de la frase, rechazarlo, recordar el comportamiento de las rapaces y quedarnos con lo que hay de parecido entre el comportamiento oportunista y despiadado de inversores y aves de rapiña. Y hacerlo de forma rápida y automática. Pues bien, la comprensión de estos dobles sentidos, tan frecuentes en nuestro uso cotidiano del lenguaje, requiere la intervención del supuestamente iletrado hemisferio derecho, más exactamente de áreas equivalentes u homólogas a las clásicas áreas lingüísticas del hemisferio izquierdo.

Captar la ironía en una frase aparentemente inofensiva, comprender la moraleja de una fábula o el humor incisivo de un chiste son habilidades relacionadas en las que el hemisferio derecho también desempeña un papel crucial. Los mejores chistes son los que juegan con nuestras expectativas, poniéndolas cuidadosamente en pie para finalmente provocar la carcajada al derribarlas de un plumazo. Un buen chiste es aquél cuya resolución nos coloca repentinamente en un escenario totalmente inesperado al que, sin embargo, el relato anterior nos ha ido acercando sigilosamente. Necesariamente, captar el sentido humorístico supone la operación de procesos cognitivos más complejos que la comprensión de los significados más literales del lenguaje. Un requisito fundamental es la capacidad para modificar repentinamente el marco de referencia establecido en el planteamiento del relato y cambiar al nuevo escenario adonde nos lleva su resolución. La eficacia del golpe de efecto final depende de nuestra capacidad para reconocer de inmediato ese cambio de escenario. Esta capacidad parece estar seriamente comprometida en las personas con daño cerebral localizado en el hemisferio derecho que, sin embargo, conservan intactas sus capacidades lingüísticas básicas. Estas personas experimentan serios problemas para captar muchos de los giros y sutilezas que pueden expresarse a través del lenguaje, incluida la comprensión del lenguaje metafórico o figurado y el estilo humorístico empleado en los chistes.

A pesar de la indudable lateralización izquierda de las funciones lingüísticas, durante el desarrollo del cerebro el hemisferio derecho parece conservar al menos temporalmente su potencialidad para asumir esas funciones en caso necesario. Aunque las lesiones que afectan al hemisferio izquierdo en la edad adulta pueden producir trastornos afásicos difícilmente recuperables, el hemisferio derecho conserva su potencialidad para la adquisición del lenguaje cuando el izquierdo ha sido dañado o extirpado a una edad temprana. Tradicionalmente se ha creído que el hemisferio derecho permanecía receptivo a la estimulación lingüística sólo durante un reducido periodo crítico en la infancia estimado en torno a los cinco años de edad y que más allá de ese periodo, el daño en el hemisferio izquierdo tenía consecuencias irreversibles sobre el aprendizaje. Sin embargo, este periodo crítico podría ser notablemente más prolongado, como indican algunos casos

en los que el hemisferio derecho ha asumido con eficacia las funciones lingüísticas después de que el hemisferio izquierdo haya sido extirpado a una edad tan tardía como los nueve años.

Buscando la diferencia

Aunque el dominio del hemisferio izquierdo sobre el derecho, en lo que al lenguaje se refiere, es bien conocido desde los estudios pioneros de Broca y Wernicke, encontrar la base estructural de esta diferenciación ha resultado una tarea mucho más difícil. La principal y más notable diferencia es la que se ha descrito en el así llamado plano temporal, una región cerebral situada en la superficie superior de los lóbulos temporales y que coincide con la localización del área de Wernicke. Esta diferencia estructural fue descrita por vez primera en 1968 por el neurólogo Norman Geschwind (1926-1984), de la Facultad de Medicina de Harvard. Mediante el estudio *post mortem* de cien cerebros humanos, Geschwind y su colaborador Walter Levitsky comprobaron que la longitud del plano temporal era mayor en el 65% de los casos en el hemisferio izquierdo y sólo en el 11% de los casos en el hemisferio derecho. Por otra parte, en la mayoría de las personas diestras el volumen del plano temporal es hasta diez veces mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Esta asimetría estructural se observa ya en el feto y aparece también en primates no humanos, incluidos los chimpancés, por lo que ha atraído la atención de los científicos interesados en comprender el origen evolutivo de las capacidades lingüísticas de nuestra especie. El problema es que, a pesar de la coincidencia entre la asimetría del plano temporal y la lateralización izquierda del lenguaje, no hay acuerdo sobre cuál pueda ser su significado funcional.

Algunos estudios recientes han mostrado sutiles diferencias estructurales entre los hemisferios cerebrales que quizá expliquen su distinta especialización funcional. Al fin y al cabo, que una determinada región del cerebro tenga mayor volumen en uno que en otro hemisferio no nos dice mucho acerca de cómo el tamaño favorece el desempeño de una u otra función. Las diferencias entre los patrones de conectividad intra-hemisférica y las

variaciones observadas en la organización interna o microestructura de áreas equivalentes de uno y otro hemisferio nos permiten ir un poco más allá del «cuanto más grande mejor». En este sentido, se ha observado que en algunas regiones del hemisferio izquierdo el número y eficacia de las conexiones entre regiones adyacentes es mayor que en el hemisferio derecho, lo que podría otorgar al hemisferio izquierdo una superior capacidad de procesamiento. Por ejemplo, una conectividad más eficaz en la corteza auditiva podría facilitar el procesamiento de los rápidos cambios de la señal acústica que son característicos del lenguaje hablado. Por otra parte, se han descrito diferencias en la microestructura de áreas similares del hemisferio izquierdo y derecho que parecen ser exclusivas del cerebro humano. Concretamente, se han descrito diferencias en la distribución y espaciamiento de las minicolumnas de neuronas corticales, que son los módulos básicos de procesamiento en la corteza cerebral. En regiones como el plano temporal del hemisferio izquierdo, el espaciamiento entre mini-columnas es mayor que en regiones equivalentes del hemisferio derecho.

Aunque las diferencias en la microestructura de zonas homólogas de los hemisferios cerebrales puedan parecer menores, sus consecuencias en cuanto al modo en que cada hemisferio procesa la información pueden ser muy importantes. Por ejemplo, una mayor distancia entre una y otra minicolumna reduce el solapamiento entre las arborizaciones dendríticas de sus correspondientes neuronas, permitiendo un funcionamiento más independiente y selectivo y contribuyendo a un procesamiento más preciso y diferenciado de los aspectos semánticos del lenguaje. Por el contrario, un mayor solapamiento daría origen a un procesamiento más global, menos preciso y más aproximativo. Estas diferencias estructurales podrían explicar la superioridad del hemisferio izquierdo en la decodificación del significado literal de las frases y la ventaja del hemisferio derecho cuando se trata de captar el sentido figurado o metafórico de un mensaje, cuya comprensión requiere acceder a asociaciones remotas o indirectas de las palabras. Un hipotético sistema de activación semántica más difuso en el hemisferio derecho permitiría precisamente activar ese tipo de asociaciones, posibilitando una interpretación menos literal del mensaje.

7. Emociones a izquierda y derecha

Razón frente a emoción

La localización de las emociones en el hemisferio derecho es otro elemento clave del mito de los dos cerebros. La idea no es nueva y fue propuesta por vez primera a finales del siglo XIX por el médico y neurólogo francés Jules Bernard Luys (1828-1897). Basándose en los cambios de conducta observados en pacientes con daño cerebral circunscrito a uno de los hemisferios cerebrales, Luys concluyó que el centro de elaboración de las emociones estaba localizado en el hemisferio derecho, atribuyendo, en cambio, al hemisferio izquierdo el control de las funciones intelectuales. A diferencia de lo que ocurre en la actualidad, el mundo intelectual y científico de la época no tenía a las emociones en gran consideración. Quizá por ello Luys pintó un cuadro del cerebro en el que el hemisferio izquierdo, racional y civilizado, tenía que habérselas con las perturbadoras tendencias primitivas del irracional hemisferio derecho, sede de impulsos y emociones. De acuerdo con esta descripción, el equilibrio entre las fuerzas de ambos hemisferios era la clave de la salud mental y su ruptura, con el brioso hemisferio derecho tomando las riendas, la causa de la locura. Estas ideas no fueron propuestas por alguien que no sabía de lo que hablaba. Además de su intensa labor como psiquiatra en importantes centros médicos parisinos, Luys fue un prestigioso neurólogo bien conocido en su época por sus aportaciones a la neuroanatomía cerebral. Una bien conocida es la identificación del núcleo subtalámico o núcleo de Luys, que forma parte de los circuitos cerebrales de control del movimiento. Por desgracia, el equilibrio interhemisférico debió romperse en el cerebro del propio Luys a raíz de su interés por la hipnosis, el espiritismo y pseudoterapias como la acción a distancia de los medicamentos, cuya eficacia trató de demostrar repetidamente. A raíz de esta deriva hacia lo esotérico, el imaginativo neurólogo alcanzó gran notoriedad debido a sus sesiones públicas de hipnotismo, auténticos *shows* paranormales a los que asistía lo más granado de la sociedad parisina.

La teoría tradicional que identifica el hemisferio derecho con un supuesto

cerebro emocional ha gozado de gran popularidad incluso en ámbitos científicos y profesionales. Y es cierto que algunas observaciones corroboran la superioridad del hemisferio derecho en diversas funciones relacionadas con la emoción. Por ejemplo, las palabras con connotaciones emocionales son procesadas de forma más eficaz cuando son presentadas en el hemicampo visual izquierdo y son, por tanto, procesadas por el hemisferio derecho. El hemisferio derecho también parece ser superior en la producción y comprensión de la prosodia emocional, es decir, los cambios en la entonación de la voz que, asociados a diferentes estados emocionales, otorgan al lenguaje su coloración afectiva. Las personas con lesiones en el hemisferio derecho a consecuencia de un infarto cerebral experimentan dificultades precisamente con este aspecto del lenguaje. Dependiendo de la precisa localización de la lesión, la dificultad puede mostrarse a la hora de expresar emociones mediante el tono de voz (aprosodia motora) o de comprender los matices emocionales expresados por otra persona (aprosodia sensorial). Sin embargo, los estudios más recientes de neuroimagen no han confirmado la idea de que exista una dominancia general del hemisferio derecho en relación con la emoción. Lo cierto es que los sistemas neuronales que intervienen en la generación de las emociones y en su experiencia consciente se hallan distribuidos por todo el cerebro, sin un predominio claro de uno u otro hemisferio.

Positivo/negativo

Una versión más reciente de la lateralización cerebral de las emociones propone que el principio organizador de la especialización hemisférica no es la dicotomía razón/emoción, sino el contraste entre emociones de diferente valencia afectiva. Según esta teoría, desarrollada principalmente por el psicólogo Richard Davidson, determinadas regiones de las cortezas frontales izquierda y derecha estarían relacionadas respectivamente con las emociones positivas y negativas. Una de las observaciones en que se basa esta teoría es el diferente efecto de las lesiones unilaterales de la corteza prefrontal sobre la experiencia y la conducta emocional. Mientras que las lesiones del hemisferio izquierdo dan origen frecuentemente a la aparición de síntomas depresivos, las

lesiones localizadas en el hemisferio derecho pueden provocar estados anómalos de euforia y una conducta en exceso desinhibida. De acuerdo con estas observaciones, también se ha advertido que los estados depresivos van acompañados de una reducción de la actividad neuronal en la región frontal del hemisferio izquierdo. Otro dato significativo es que la inducción de un estado de ánimo positivo o negativo mediante el visionado de imágenes o filmaciones de contenido emocional produce un incremento selectivo de la actividad cerebral en las regiones prefrontales izquierda o derecha. Mientras que un aumento del ánimo positivo conlleva un incremento de la actividad en el hemisferio izquierdo, los estados de ánimo negativos van acompañados de una mayor actividad en el hemisferio derecho. Esta diferente lateralización afectiva se observa también en relación con nuestras preferencias personales. Escuchar nuestro estilo de música favorito también produce un aumento selectivo de la actividad en el hemisferio izquierdo. En cambio, la música que nos resulta menos atractiva da origen a un patrón de activación menos lateralizado, aunque con predominio de la actividad en el hemisferio derecho.

El mito de los dos cerebros supone que uno de los principales factores que determina las diferencias individuales en inteligencia y temperamento es el dominio relativo de uno u otro hemisferio. Sin embargo, lo cierto es que nadie ha encontrado pruebas convincentes de que las personas nos diferenciamos por el uso preferente de una de las mitades del cerebro. Por el contrario, un estudio con más de mil participantes, basado en el análisis de la conectividad cerebral mediante resonancia magnética, ha demostrado que no existen diferencias individuales en la organización cerebral que permitan distinguir entre personas de cerebro izquierdo o derecho. Sin embargo, sí parece haber variaciones en el modo de operación de las regiones frontales de cada hemisferio que podrían estar en la base de algunas diferencias individuales en la experiencia afectiva y el comportamiento emocional. Empleando medidas de registro electroencefalográfico (EEG), algunos estudios indican que podría existir una relación entre distintos estilos afectivos y los patrones relativos de actividad en las regiones frontales de los hemisferios izquierdo y derecho. Por lo general, las personas en las que predomina el estado de ánimo positivo tienden a mostrar mayor actividad frontal en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Lo contrario ocurre en aquellas personas que experimentan más

frecuentemente estados de ánimo negativo, como tristeza, ansiedad o depresión.

Las diferencias en el patrón de actividad relativa a uno y otro lado del cerebro se observan en estado basal, es decir, cuando la actividad electroencefalográfica se mide en estado de reposo, mientras el sujeto no está ocupado en ninguna tarea en especial. Esto sugiere que esas diferencias reflejan distintos modos de funcionamiento cerebral «por defecto» que son característicos de cada individuo. Es interesante que estos distintos modos de operación se observen ya en niños de corta edad y que aparezcan asociados a notables diferencias de comportamiento. Una serie de estudios llevados a cabo por el equipo del psicólogo Jerome Kagan, combinando medidas de actividad cerebral y observación de la conducta, indica que los niños en los que predomina la actividad en el hemisferio izquierdo tienden a manifestar un comportamiento más activo e independiente que los que muestran una actividad basal superior en el hemisferio derecho. Estos últimos son más inhibidos y no se separan fácilmente de la madre cuando se les da la oportunidad de explorar un nuevo entorno. Aunque la evidencia sobre este punto no es definitiva, se ha propuesto que una actividad basal reducida en el hemisferio izquierdo podría ser un factor de predisposición para el desarrollo de trastornos afectivos como la depresión. De hecho, algunos estudios han mostrado que las personas con diagnóstico de depresión muestran una actividad neuronal reducida en el hemisferio izquierdo que permanece incluso después de haberse recuperado.

Actividad/inhibición

Cuando se trata del cerebro, las cosas nunca son sencillas. Sabemos ya que el hemisferio derecho no tiene la exclusiva de nuestro mundo afectivo, pero que sí hay indicios de una división del trabajo que asigna a cada hemisferio la tarea de manejar unas u otras emociones en función de su valencia positiva o negativa. Pero tampoco esto es del todo cierto. En realidad, lo verdaderamente importante podría no ser tanto la cualidad de las emociones sino el tipo de conducta que fomentan, si un estado de ánimo nos mueve a la aproximación o a

la evitación, a la conducta activa o a la inhibición. Los estados de ánimo positivos, como por ejemplo los asociados al logro de un objetivo deseado, tienden a impulsarnos a buscar el contacto con otras personas, especialmente cuando el objetivo ha sido alcanzado gracias a una labor de equipo. Pensemos en los efusivos revolcones de los futbolistas con los compañeros de equipo después de marcar un gol o en la necesidad de saltar y abrazar a alguien cuando recibimos una buena noticia que llevábamos esperando largo tiempo. Por el contrario, estados de ánimo negativos como el miedo o la ansiedad tienden a provocar una conducta más inhibida y precavida cuando la amenaza es sólo anticipada o una violenta reacción de huida cuando el peligro es inminente. Un comportamiento inhibido es también característico de la tristeza, la emoción que nos impulsa a encerrarnos en nosotros mismos y quizá a procurar la compañía de otros, aunque sólo sea en busca de consuelo. Sin embargo, las cosas cambian cuando nos fijamos en otra emoción negativa, la ira.

El impulso natural asociado a la ira es el de agredir, física o verbalmente, a quien consideramos causante de nuestra irritación. La conducta agresiva es obviamente una conducta activa, desinhibida y dirigida a un agente externo, características que, aun al servicio de fines muy distintos, son similares a las que muestran las conductas de aproximación normalmente asociadas a las emociones positivas. Teniendo en cuenta estos argumentos quizá deberíamos sustituir la dicotomía emoción positiva/emoción negativa por la distinción conducta activa/conducta inhibida. Éste es precisamente el punto de vista que Davidson propone cuando define el sistema emocional del hemisferio izquierdo como «sistema de activación» y el del hemisferio derecho como «sistema de inhibición». Según esto, la identificación del hemisferio izquierdo con las emociones positivas y al derecho con las negativas es de nuevo incorrecta. A la izquierda está la alegría, sí, pero según parece le acompañan también ira y agresión. De acuerdo con esta posibilidad, se ha demostrado que ser expuestos a una situación generadora de ira o simplemente ver imágenes relacionadas con ira y agresión produce un incremento en la actividad frontal izquierda, especialmente si tenemos la sensación de que podemos responder de forma activa a la situación provocadora. Otra observación acorde con la relación entre ira y hemisferio izquierdo es que las personas que experimentan

la ira de un modo especialmente intenso o que tienen un carácter más agresivo muestran también mayor actividad relativa en ese hemisferio.

Observaciones como éstas no significan que haya en cada hemisferio «centros» diferenciados con funciones claramente definidas en relación con la conducta y la experiencia emocional. Que sistemas localizados en uno u otro hemisferio tengan un papel preferente en algunos aspectos concretos de diferentes emociones no implica exclusividad alguna en su manejo. La corteza prefrontal está profusamente conectada, tanto con otras regiones neocorticales como con sistemas subcorticales «primitivos» que intervienen en aspectos cruciales de la emoción y el control de la conducta, como la detección de posibles señales de peligro en nuestro entorno o la puesta en marcha de las reacciones fisiológicas y motoras que normalmente acompañan a las distintas emociones. Es a través de ese entramado de conexiones y de la interacción con otras regiones cerebrales como los sistemas prefrontales participan en la generación y experiencia de distintos estados emocionales. Por ejemplo, se ha especulado mucho con el posible papel que los sistemas prefrontales podrían desempeñar en la regulación emocional, es decir, en nuestra capacidad para controlar y modular la experiencia de emociones como el miedo o la ira. Es posible que una de las funciones de los sistemas emocionales lateralizados sea precisamente la de regular selectivamente la manifestación de experiencias y conductas emocionales de distinta naturaleza.

8. El cerebro creativo

¿Qué es la creatividad?

Completando el panorama de atractivas capacidades del hemisferio derecho, el mito de los dos cerebros considera que en él también se encuentra la sede de la creatividad. Primer problema: ¿qué es exactamente la creatividad?, ¿cuáles son las características de una persona creativa? Intentos más y menos serios de responder a estas preguntas han llenado cientos de páginas de libros y revistas especializadas. Las respuestas van desde las más obvias, que vienen

a decir que la creatividad es el proceso por el que se produce algo creativo, a otras que constituyen un largo listado de variadas actitudes y procesos cognitivos e incluso a atrevidas propuestas como la del célebre psicólogo Robert Sternberg, que en su web personal afirma que «la creatividad es gran parte una decisión, en particular una decisión de comprar barato y vender caro en el mundo de las ideas»¹⁷. Precisamente uno de los problemas que presenta el estudio científico de la creatividad es la dificultad de definir el propio concepto. Las personas podemos ser creativas en la actividad artística, en la ciencia, en la cocina, en las finanzas, en el modo de resolver problemas cotidianos... Pero ¿hay una capacidad común subyacente a todos estos comportamientos?, ¿cuáles son los procesos que intervienen en el pensamiento y la conducta creativos?, ¿las personas que son creativas en un determinado contexto lo son también en otros? Además de estas dificultades conceptuales, hay problemas metodológicos que complican la investigación de la creatividad. Si queremos observar los patrones de actividad cerebral asociados a la conducta creativa es necesario disponer de una condición de control apropiada en la que el sujeto esté realizando alguna tarea no creativa. El problema es que las tareas creativas (por ejemplo, proponer usos alternativos para un neumático o un paraguas) son intrínsecamente más difíciles que las tareas no creativas (nombrar objetos que pueden encontrarse en una cocina).

Los investigadores se las ven y se las desean para hacer comparaciones entre tareas lo más semejantes posible y que difieran sólo en si requieren o no de la creatividad, cosa que resulta bastante complicada. Otro problema más prosaico, pero real, es que no es fácil observar la creatividad en acción en las estrictas y poco motivadoras condiciones que requiere el uso de las técnicas de neuroimagen. Dada la dificultad para observar ejemplos espontáneos de creatividad en el laboratorio, los psicólogos han diseñado procedimientos destinados a generar ejemplos de conducta creativa, lo que en la mayor parte de los casos quiere decir dar soluciones y respuestas originales a tareas como la ya mencionada de encontrar usos alternativos a objetos comunes. En la investigación más reciente, especialmente en la de la orientación neurocientífica, abundan también los intentos por estudiar ejemplos más realistas de creatividad, recurriendo por ejemplo a la colaboración de

músicos o poetas a los que se pide que improvisen al tiempo que se registra su actividad cerebral.

¿Dónde se esconde la creatividad?

Considerados en conjunto, los estudios neurocientíficos desmienten la idea popular de que la creatividad es una capacidad que depende del hemisferio derecho y echan también por tierra la posibilidad de identificar alguna región cerebral concreta que pueda ser considerada como su sede exclusiva. Éstas son las conclusiones a las que llega un estudio de revisión publicado en 2010, basado en el análisis pormenorizado de 63 artículos científicos sobre cerebro y creatividad publicados en años anteriores. Es importante señalar que en los estudios analizados se emplearon diferentes medidas de creatividad, incluyendo tanto tareas de laboratorio como ejemplos más naturales de conducta creativa como el dibujo o la improvisación musical, así como distintas técnicas de medida de la actividad cerebral, principalmente electroencefalografía y resonancia magnética funcional. Tras analizar los resultados de estos estudios, los autores de la revisión concluyen que no hay evidencia de una asociación fiable entre una supuesta capacidad general de creatividad y la actividad del hemisferio derecho. Tampoco, concluyen, se deduce de su análisis que podamos identificar alguna región cerebral cuya participación sea necesaria ni suficiente para el comportamiento creativo. Como posible excepción mencionan la corteza prefrontal, región cerebral que aparece implicada en muchos estudios de creatividad, aunque mostrando incrementos de actividad en unos casos y reducciones en otros.

Una posible explicación de los variados resultados de los estudios de neuroimagen funcional es que la creatividad, como característica o capacidad general, simplemente no existe, por lo que es imposible encontrar una base cerebral común para todos los comportamientos que consideramos creativos. Lo que llamamos creatividad es en realidad resultado de múltiples procesos cognitivos dependientes de redes neuronales distribuidas por ambos hemisferios y que intervienen en distinto grado en diferentes comportamientos creativos. Las pruebas realizadas con tareas creativas abiertas, relacionadas

con distintas disciplinas artísticas como la escritura o la pintura, así lo corroboran. Aunque los mapas obtenidos en estos estudios muestran sistemáticamente un patrón complejo de activación bilateral, la implicación de sistemas localizados en uno u otro hemisferio depende en gran parte de las demandas específicas de cada tarea. Mientras que la improvisación poética y literaria implica a regiones lingüísticas del hemisferio izquierdo, el dibujo conlleva una mayor activación de áreas del hemisferio derecho relacionadas con el procesamiento visoespacial. Sin embargo, las lesiones que afectan a las regiones lingüísticas del hemisferio izquierdo pueden también afectar a la expresión pictórica.

La idea de que la creatividad es una capacidad que se aplica en contextos específicos, cada uno de los cuales exige diferentes recursos cognitivos y, por tanto, una distinta dinámica cerebral, concuerda con los resultados de los estudios de neuroimagen funcional sobre la creatividad artística. Actividad coordinada de múltiples regiones cerebrales, tanto corticales como subcorticales, y continua colaboración interhemisférica, son las principales características de la dinámica cerebral asociada al proceso creativo. Este patrón incluye frecuentemente la desactivación de algunas regiones, lo que sugiere que algunas formas de creatividad, como parece ser el caso de la improvisación musical, podrían requerir la inhibición temporal de ciertas funciones mentales. Se ha observado incluso que ciertos tipos de daño cerebral que afectan al hemisferio izquierdo, como la demencia fronto-temporal, van a veces acompañados del surgimiento espontáneo de nuevos intereses artísticos y capacidades creativas. Resulta llamativo que esta aparente desinhibición de la creatividad tenga lugar a pesar de los efectos devastadores que el daño cerebral tiene sobre las capacidades cognitivas y sociales del paciente. Sin embargo, hay que decir que los casos en que se observa tal resultado son la excepción y no la regla. Por ejemplo, sólo cinco de los sesenta y cinco pacientes con demencia fronto-temporal entrevistados en un estudio frecuentemente citado mostraron el surgimiento de nuevas capacidades artísticas paralelamente a la aparición de los síntomas de la enfermedad.

Liberando la mente creativa

¿Es posible que para ser creativos y originales tengamos que poner en suspenso algunas de las consideradas capacidades superiores de nuestra mente? Esto es lo que piensa Alan Snyder, un físico especializado en óptica y finalmente reciclado en gurú de la tecnología cerebral. Su teoría de la creatividad está inspirada en las sorprendentes habilidades que sin aparente entrenamiento muestran algunos niños (y adultos) autistas, conocidos como *savants*. Un fascinante ejemplo de esta condición es el artista británico Stephen Wiltshire, mundialmente famoso por sus hermosísimos y detallados dibujos de paisajes urbanos. Según Snyder, capacidades extraordinarias como ésta podrían explicarse por la lateralización preferentemente derecha del cerebro en las personas con autismo. De hecho, utilizando técnicas no invasivas de estimulación cerebral, Snyder ha logrado demostrar que es posible fomentar un modo de pensamiento más intuitivo combinando la desactivación de ciertas regiones del hemisferio izquierdo (la zona anterior del lóbulo temporal) con la estimulación de zonas homólogas del hemisferio derecho. Estos efectos son transitorios y no suelen durar más de una hora.

En línea con el mito de los dos cerebros, Snyder ha afirmado que este resultado se debe a la inhibición del modo de procesamiento rutinario y lógico, supuestamente característico del hemisferio izquierdo, junto con la consecuente liberación del modo de operar más innovador del hemisferio derecho. Al eliminar algunos de los filtros que la mente aplica de forma rutinaria a la información sensorial, la desactivación selectiva de la actividad cerebral podría llegar a ser, según Snyder, un eficaz método para devolvernos capacidades supuestamente inhibidas de nuestro cerebro, desde el oído absoluto (la capacidad para identificar notas musicales presentadas de forma aislada) a la solución de problemas aparentemente insolubles, el dibujo o la visión en detalle. De nuevo, dulce música para los oídos, como cuando se nos asegura que «liberar a la mente de sus inhibiciones puede mejorar el pensamiento creativo». Desgraciadamente, las conclusiones y conjeturas de Snyder a partir de sus sugerentes observaciones van mucho más allá de lo que justifican los datos. Snyder ha llegado a fantasear con la posibilidad de construir un «casco de la creatividad» que podríamos llevar incorporado para

producir sobre la marcha una especie de «chutes» creativos. En espera de la puesta en marcha de este prometedor artilugio, Snyder ha contribuido al establecimiento de la empresa EMOTIV, que comercializa una versión simplificada del casco de registro EEG para uso personal y que, según promete su página web, permite optimizar las capacidades cognitivas y emocionales, «mejorar el foco atencional, reducir el estrés y profundizar la práctica de la meditación»¹⁸. ¿Hay quien dé más?

9. Creatividad, libertad y control

Superando la dicotomía izquierda/derecha, algunos investigadores de la creatividad han propuesto una teoría que capta de forma más certera la dualidad intrínseca de esta compleja capacidad. En resumen, esta teoría propone que el proceso creativo implica la operación de dos procesos complementarios, uno de generación de ideas o posibilidades y otro de evaluación o selección. El primer proceso consistiría en la generación de nuevas variantes para la solución de un determinado «problema», sea resolver una complicada ecuación, encontrar la rima para un verso inacabado o escribir una nueva canción. En el segundo proceso, las alternativas generadas son sometidas a revisión, evaluadas en función de diferentes criterios preestablecidos y finalmente seleccionadas o excluidas del producto final. Completar un proceso creativo requiere la puesta en marcha de múltiples procesos cognitivos y la coordinación entre los sistemas cerebrales implicados. Los estudios de neuroimagen han demostrado que el mapa de conectividad funcional entre distintas regiones del cerebro, el diagrama de la «conversación» entre ellas, cambia de forma dinámica durante la generación de ideas novedosas o creativas y que ese mapa es visiblemente diferente del que se observa cuando una persona genera ideas o soluciones convencionales para un problema. Según esta nueva teoría de la creatividad, la característica fundamental de ese mapa sería la actividad complementaria y coordinada de dos grandes sistemas funcionales, el sistema de control ejecutivo y la llamada red de actividad por defecto.

Un supuesto central de la nueva teoría de la creatividad es la identificación

de los sistemas cerebrales encargados de los procesos de generación y evaluación con la red de actividad por defecto y la red de control ejecutivo, respectivamente. Como ya vimos en el Capítulo 1, estas redes cerebrales operan normalmente de manera antagónica, de modo que la actividad en una de ellas conlleva la desactivación de la otra. Es fácil comprender el porqué de este antagonismo. El mantenimiento de la atención y la concentración en una tarea mínimamente exigente requiere evitar distracciones innecesarias procedentes de nuestro propio interior, de ahí la necesidad de mantener a raya a la mente e impedir que surjan espontáneamente recuerdos, ideas y asociaciones no relacionadas que podrían interferir con la conducta en curso. Por tanto, activación del sistema ejecutivo y desactivación de la red por defecto. Por el contrario, cuando estamos sumidos en nuestros pensamientos o estamos imaginando posibles escenarios futuros, la información procedente del exterior no es más que ruido molesto e innecesario. En este caso el patrón contrario es el más adecuado, supresión del sistema ejecutivo y activación de la red por defecto. Sin embargo, quizá haya tareas que requieren la actividad coordinada de estas redes normalmente antagónicas. Este podría ser el caso de la conducta creativa.

Un producto, una idea o una creación artística no son valorados exclusivamente en función de su originalidad. Su adecuación a algún criterio preestablecido, sea pragmático (un buen diseño de un objeto cotidiano además de original ha de ser práctico) o estético (una nueva instalación artística no sólo ha de ser original, debe también transmitir algún significado o respetar algún código expresivo). En términos psicológicos, esto quiere decir que el acto creativo implica por una parte la relajación temporal de normas o directrices que puedan constreñir el proceso generativo y, por otra, la supervisión y selección de los resultados de ese proceso en función de algún otro criterio. Una mezcla de libertad y control. El acto creativo sólo alcanza el debido nivel de excelencia cuando los resultados del proceso de generación han pasado el filtro de los procesos de selección. Expresado en el lenguaje de la dinámica cerebral, esto equivale a decir que una conducta creativa eficaz requiere la coordinación de la red por defecto y la red de control ejecutivo. Esta actividad coordinada se ha observado, en efecto, durante la ejecución de tareas que implican el uso del pensamiento divergente (es decir, la generación

de alternativas o soluciones no convencionales) y también durante el desarrollo de actividades artísticas como la improvisación poética o musical. En el caso de la improvisación musical se ha observado que cuanto más sujeta está a normas preestablecidas, mayor es la coordinación entre las redes ejecutiva y por defecto. Por otra parte, cuando se separan en el tiempo las fases de generación y evaluación, como cuando se le pide a un poeta que primero genere versos espontáneamente y que a continuación revise el resultado, se observa inicialmente una correlación negativa seguida de una coordinación entre ambas redes. La generación de nuevas formas e ideas, por tanto, parece nutrirse principalmente de la producción espontánea de la red por defecto, pero su evaluación depende del trabajo coordinado con la red de control ejecutivo.

¹⁴ Kipling, R. (2009), *Kim*, Barcelona, Ed. Juventud.

¹⁵ El texto completo del discurso puede encontrarse en la web The Nobel Prize (<https://www.nobelprize.org/prizes>).

¹⁶ En el test de Wada se inyecta al paciente un fármaco anestésico con el objeto de interrumpir selectivamente y de forma transitoria la actividad de cada uno de los hemisferios cerebrales, con el fin de observar el efecto de la anestesia sobre las funciones lingüísticas.

¹⁷ <http://www.robertjsternberg.com>

¹⁸ Snyder, A., Ellwood, S. y Chi, R. (2013), Corriente continua para la creatividad. *Mente y Cerebro*, p. 62.

PSICOBIOLOGÍA DEL PLACER: DEL BIENESTAR A LA ADICCIÓN

Por ello decimos que el placer es el principio y el fin de la vida feliz. Lo hemos reconocido como el primero de los bienes y conforme a nuestra naturaleza, él es el que nos hace preferir o rechazar las cosas, y a él tendemos tomando la sensibilidad como criterio del bien. Y puesto que el placer es el primer bien natural, se sigue de ello que no buscamos cualquier placer, sino que en ciertos casos despreciamos muchos placeres cuando tienen como consecuencia un dolor mayor.

Carta a Meneceo, Epicuro (341-270 a.C.).

1. Emoción, placer y afecto positivo

Euforia, alegría, enamoramiento, orgullo, satisfacción... Todos estos sustantivos y otros similares se refieren a sensaciones afectivas y estados psicológicos que cualquier ser humano desea experimentar. Aunque no siempre lo consigamos, una gran parte de nuestra conducta está orientada a la consecución de esos estados tan apreciados. Sea persiguiendo grandes metas vitales, buscando experiencias novedosas y excitantes, acercándonos a nuestros semejantes o procurándonos pequeños placeres cotidianos, la búsqueda del bienestar y la felicidad es la principal motivación de la conducta humana. Por supuesto, lo que para cada uno signifique exactamente «felicidad» puede variar enormemente, pero el rasgo común a esos múltiples significados es el deseo de poseer cosas que valoramos o experimentar sensaciones que nos hacen sentir bien. Objetivos que pueden ir desde cosas tan materiales como una buena casa, un coche deportivo o unas vacaciones de ensueño al logro de sensaciones más intangibles como el amor correspondido, la aprobación de los demás o la sensación de autorrealización o de

trascendencia. Algunas de estas cosas son valoradas invariablemente por los seres humanos, otras reflejan gustos y motivaciones más particulares. Pero desear algo con fuerza implica estar dispuesto a esforzarse para conseguirlo. Todas las cosas por las que estamos dispuestos a esforzarnos y cuyo disfrute nos hace sentir bien son lo que los psicólogos denominan «recompensas» o «reforzadores». Además de motivar nuestra conducta y proporcionarnos placer y bienestar, las recompensas hacen que repitamos los comportamientos que nos llevan a su consecución. Este «principio del refuerzo», planteado a finales del siglo XIX por el psicólogo norteamericano Edward Thorndike a partir de sus ingeniosos estudios sobre el aprendizaje en animales domésticos, es una ley universal que a pesar de su aparente simplicidad permite explicar multitud de aspectos de la conducta animal, incluida por supuesto la de nuestra propia especie¹⁹.

Las recompensas que motivan nuestro comportamiento tienen la capacidad de generar alguna variedad de la experiencia subjetiva a la que denominamos placer. Es precisamente esa capacidad la que nos hace desearlas. El placer añade a los objetos que lo producen un nuevo brillo que les hace destacar sobre el fondo neutro de las cosas que son simplemente percibidas, pero no disfrutadas. Por supuesto, el placer se manifiesta de formas muy diversas que pueden abarcar desde sensaciones puramente físicas a la experiencia espiritual y casi mística de los placeres estéticos o intelectuales más elaborados. Pero, por encima de las diferencias cualitativas en la experiencia del placer, la sensación de goce o disfrute es su elemento distintivo. Según esto, podemos considerar que emociones positivas como las mencionadas al comienzo de este capítulo son estados placenteros producidos por la posesión o disfrute de algún tipo de recompensa o, al menos, por la expectativa más o menos cierta de conseguirla. Y si las emociones positivas tienen que ver, en último término, con la recompensa y el placer, hemos de concluir que las negativas lo están con sus opuestos psicológicos, el castigo y el dolor, con la percepción de la amenaza o la pérdida de los bienes materiales y personales que más apreciamos

¿Para qué sirven las emociones?

La afirmación de que las emociones humanas se basan «en último término» en la búsqueda del placer y la evitación del dolor nos remite a su origen evolutivo, es decir, a las ventajas que confieren en relación con la supervivencia y la reproducción. El psicólogo James Russell ha acuñado el concepto de «afecto básico» (en inglés *core affect*) para referirse precisamente a las sensaciones de bienestar/malestar o placer/dolor, como el componente esencial y más profundo de las emociones, aquello que constituye el núcleo de nuestra experiencia afectiva. Enriquecido por las múltiples contribuciones de la memoria individual, las normas culturales y la autoconciencia, ese afecto básico da lugar en el cerebro humano a la emergencia de un fenómeno psicobiológico más complejo, la experiencia consciente de la emoción.

De acuerdo con la psicología evolucionista²⁰, las emociones son estados caracterizados por alteraciones en los procesos mentales, la fisiología y la conducta, que preparan al animal para hacer frente a situaciones recurrentes en la vida de los individuos de una determinada especie. Estas situaciones-tipo se refieren a los dos grandes ámbitos de la adaptación de los animales a su entorno: la supervivencia y la reproducción. El comportamiento orientado a la búsqueda de alimento y las estrategias de conducta defensiva pertenecen al primer ámbito; la búsqueda de pareja, la procreación y la cría de la progenie al segundo. De acuerdo con este esquema, el mínimo común denominador que diferencia a unas emociones de otras es la dicotomía entre aproximación y evitación: buscar y acercarse a las cosas que facilitan la supervivencia y fomentan la reproducción, evitar o enfrentarse a aquellas que las ponen en peligro. Las emociones, por tanto, son antes que nada disposiciones para la acción. La propia etimología de la palabra, derivada del verbo latino *emovere* o mover hacia afuera, nos remite ya a la acción y el movimiento como componente esencial de las emociones.

Entendidas en el sentido recién apuntado, todas las especies animales manifiestan algún tipo de emoción o, al menos, de conducta emocional. Mucho más difícil es saber si otras especies distintas a la nuestra tienen una experiencia subjetiva de la emoción, si pueden albergar sentimientos emocionales conscientes similares a los que experimentamos los seres humanos. Aunque las emociones humanas sean también guías para la acción, lo

que les es privativo es un nuevo estrato psicológico que resulta de la evolución de nuestro cerebro, su naturaleza subjetiva, su carácter de experiencias conscientes. Y es a esos sentimientos conscientes a los que llamamos felicidad, placer, miedo, ira o tristeza. Que otras especies animales tengan emociones en este sentido es una hipótesis para cuya comprobación no disponemos de evidencia definitiva y que está relacionada con cuestiones difíciles de resolver como la presencia de experiencias conscientes o de un concepto del yo en animales distintos del hombre.

2. Placer y motivación en el cerebro

El sistema cerebral de recompensa

La búsqueda de las bases cerebrales de la emoción ha sido uno de los objetivos históricos de la neurociencia. Ya en la primera mitad del siglo XX, James Papez y Walter Cannon propusieron las primeras teorías sobre el modo en que el cerebro genera las emociones, señalando el papel crucial de diferentes estructuras subcorticales que conforman lo que posteriormente se conocería como «sistema límbico»²¹. Sin embargo, estas primeras teorías descuidaron un aspecto esencial de la experiencia afectiva, el placer. No es casual que los primeros estudios experimentales sobre la emoción, realizados en su mayor parte en animales de laboratorio, se centrasen en emociones como el miedo o la ira. Estas emociones van acompañadas de manifestaciones conductuales y fisiológicas que pueden observarse con relativa facilidad en especies distintas del hombre y que facilitan su estudio experimental y la identificación de sus bases cerebrales. El estudio de los fundamentos psicobiológicos del placer y los afectos positivos no despegó de forma definitiva hasta la década de 1950 con un descubrimiento que revolucionaría las ideas acerca del modo en que el cerebro responde a los aspectos más atractivos de nuestro entorno y construye la experiencia subjetiva del bienestar físico y psicológico.

Conocer cómo el cerebro trata con las recompensas, cómo detecta qué

cosas son más o menos deseables, es parte de la tarea de explicar el modo en que se generan en nuestra mente las sensaciones de bienestar y felicidad. Averiguar cuáles son y cómo funcionan los sistemas cerebrales del refuerzo y la recompensa es condición indispensable para una explicación psicobiológica de las emociones, especialmente de aquellas que más anhelamos experimentar. Como ocurre frecuentemente, el descubrimiento original que nos puso en la pista de ese conocimiento se produjo casi por azar. Mientras dos neurocientíficos norteamericanos, James Olds y Peter Milner, estudiaban en los primeros años de la década de los cincuenta los efectos de la estimulación eléctrica del cerebro en ratas de laboratorio, observaron que la estimulación aplicada en algunas zonas cerebrales hacía que los animales insistiesen en volver una y otra vez al lugar donde la habían recibido. Estudios posteriores demostraron que, si se les daba la oportunidad, los animales hacían cualquier cosa imaginable para autoestimularse. En resumen, había zonas del cerebro cuya estimulación tenía un efecto similar al de recompensas naturales como el sexo o la comida. Los animales se mostraban dispuestos a repetir miles de veces una sencilla conducta, como apretar una pequeña palanca, a cambio de recibir de vez en cuando su deseada ración de estimulación cerebral. En realidad, esa estimulación parecía tener para los animales un atractivo mucho mayor que las propias recompensas naturales ya que, aunque estuviesen hambrientos, insistían en procurársela en vez de hacer lo posible para conseguir un poco de alimento.

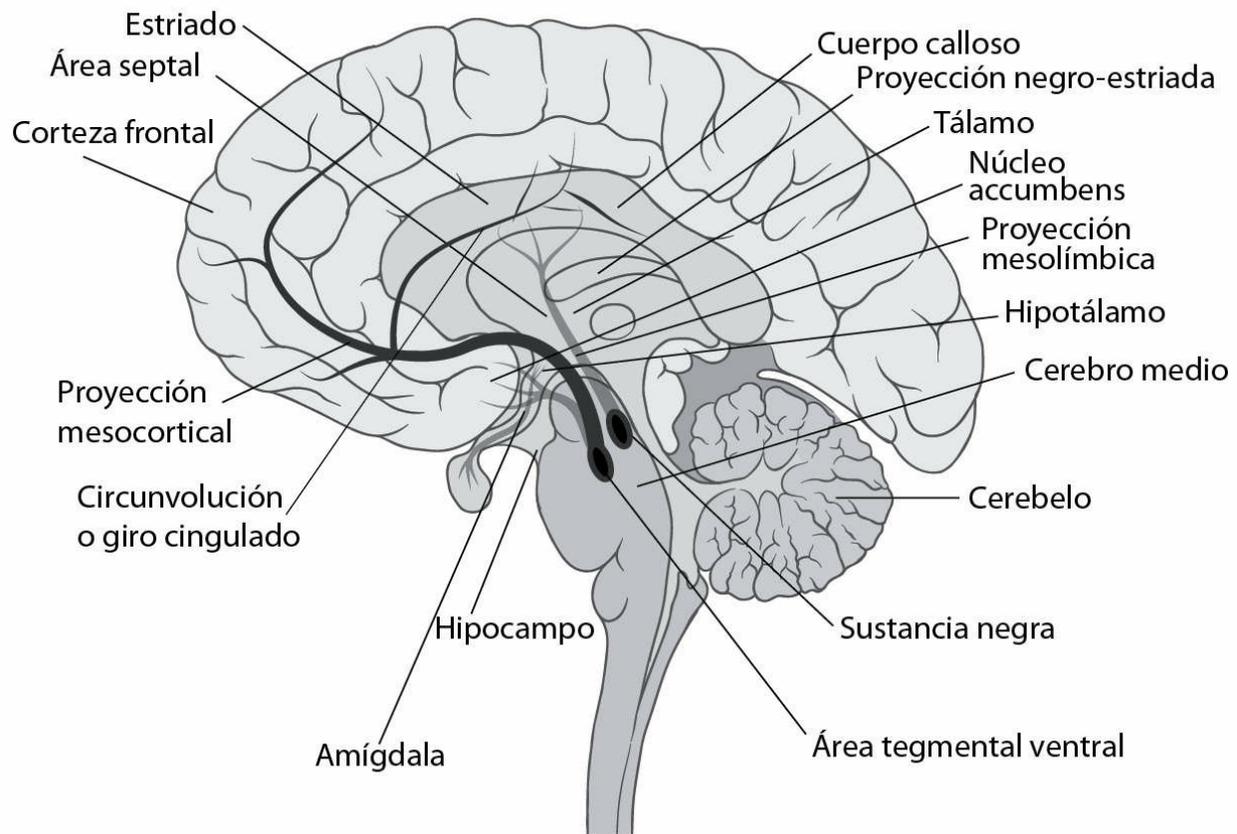
En el informe publicado en 1954 en el que dieron cuenta de su descubrimiento, Olds y Milner afirmaron que la estimulación eléctrica del cerebro era reforzante «en el sentido de que, si se le da la oportunidad de hacerlo, el animal experimental buscará su estimulación de forma frecuente y sostenida durante largos periodos de tiempo». Pero ¿cuál era la explicación de este llamativo fenómeno? Según Olds y Milner y la mayoría de los investigadores que lo estudiaron posteriormente, la estimulación cerebral es reforzante cuando logra activar los sistemas neuronales que normalmente responden a las recompensas naturales. Y si es así, la autoestimulación cerebral podría proporcionar una potente herramienta para delinear el mapa de los sistemas cerebrales encargados de detectar, procesar y hacer sentir a los animales el bienestar y el placer producidos por las múltiples

recompensas que su entorno les ofrece. En efecto, el descubrimiento de la estimulación cerebral reforzante ha desempeñado un papel fundamental en la identificación neuroanatómica del llamado sistema cerebral de recompensa.

El sistema cerebral de recompensa está formado por un conjunto de áreas corticales y subcorticales interconectadas por vías nerviosas que utilizan la dopamina como principal neurotransmisor. La actividad neuronal en los distintos componentes de este sistema se incrementa en presencia de distintos tipos de recompensas. El origen de las vías dopaminérgicas del sistema de recompensa se encuentra en un grupo de neuronas situado en la región superior del tronco encefálico, denominado área tegmental ventral. Las neuronas de esta área sintetizan el neurotransmisor dopamina y proyectan sus axones hacia distintas regiones del sistema de recompensa localizadas en niveles superiores del cerebro. Algunas de esas regiones son la amígdala, el hipotálamo, el núcleo *accumbens* y la corteza orbitofrontal. Todas ellas desempeñan funciones esenciales en relación con las emociones, la motivación y los procesos de refuerzo y recompensa. Debido a que comprende estructuras del cerebro medio, el sistema límbico y la corteza cerebral, el sistema de recompensa recibe también el nombre más técnico de sistema mesocórtico-límbico. Un sistema de extrema importancia, ya que constituye la base biológica más profunda de nuestros afectos y motivaciones.

FIGURA 1

Sistema meso-córtico-límbico de la recompensa en el cerebro humano



¿Un centro del placer en el cerebro?

La estructura cerebral conocida como núcleo *accumbens* está formada por un denso conjunto de neuronas que forma parte del llamado sistema estriado ventral, localizado en la base del cerebro anterior, justo por delante del hipotálamo. El *accumbens* es algo así como el corazón del sistema cerebral de recompensa. Sus neuronas proyectan sus axones hacia la corteza cerebral que, a su vez, envía proyecciones descendentes hacia el *accumbens*. Este circuito córtico-estriado de ida y vuelta permite una influencia mutua entre los procesos superiores de evaluación y control de la conducta y los procesos afectivos y motivacionales más primitivos. Las neuronas del núcleo *accumbens* incrementan su actividad en respuesta a la presentación o anticipación de recompensas naturales como el agua, la comida o el sexo, pero lo hacen también en respuesta a otras no tan naturales como el dinero o la

mayoría de las drogas de abuso, especialmente las drogas estimulantes. Todas estas cosas producen un incremento de la concentración de dopamina en el *accumbens* y otras regiones del sistema de recompensa. En el caso de las drogas estimulantes, el correlato subjetivo de la actividad del sistema de recompensa es la característica sensación de «subidón» y euforia producida por su consumo. Complementariamente a estos efectos, la omisión de una recompensa esperada da origen a una reducción de la actividad neuronal en el núcleo *accumbens*, razón por la que se cree que una de las funciones de esta estructura cerebral sería la de llevar la cuenta de ganancias y pérdidas, del cumplimiento o frustración de nuestras expectativas de recompensa, generando una especie de «señal de error» cuando lo que obtenemos no se corresponde, para bien o para mal, con lo que esperábamos.

La principal conexión entre el estriado ventral y la corteza cerebral tiene lugar a través de vías que lo conectan con el córtex orbitofrontal, la sección anterior de los lóbulos frontales situada justo encima de las órbitas de los ojos. De modo similar a lo observado en el núcleo *accumbens*, las neuronas orbitofrontales responden a la presentación o anticipación de distintos tipos de recompensas, sean materiales o simbólicas. La visión de una cara atractiva, el anuncio de una ganancia monetaria, una suave caricia en el dorso de la mano, una alabanza personal o unos segundos de nuestra música preferida son algunas de las pequeñas recompensas que nos brinda la vida cotidiana y que mejoran, aunque sólo sea durante unos instantes, nuestro estado de ánimo. Todas ellas son efectivas para incrementar la actividad de la corteza orbitofrontal y por eso esta región cerebral es considerada como un componente esencial del sistema de recompensa del cerebro. Una de las funciones que se le atribuyen es la de codificar el valor percibido de las recompensas. Así lo confirma la observación de que la intensidad de la actividad orbitofrontal es proporcional al valor de la recompensa, como, por ejemplo, la cantidad de dinero ganada en una situación de juego.

Con independencia del valor objetivo de una determinada recompensa, como el olor asociado a un alimento apetitoso, las neuronas del córtex orbitofrontal responden en función del valor subjetivo que el sujeto le atribuye en cada momento. Por ejemplo, la actividad evocada por la visión de un apetitoso bistec será débil si en ese momento estamos saciados, pero

aumentará si llevamos unas horas sin comer. Esto no es más que un ejemplo del principio general según el cual el valor subjetivo de las recompensas y, en consecuencia, el placer que generan, varían dependiendo del estado del organismo. Una de las funciones del componente orbitofrontal del sistema de recompensa parece ser, precisamente, la de integrar la información proporcionada por los sistemas perceptivos (por ejemplo, el olor y el aspecto de la comida) con la información acerca del estado del organismo (hambre o saciedad) y determinar de acuerdo con ello el valor actual de la recompensa.

¿Pueden separarse el deseo y el placer?

Los efectos de las recompensas naturales sobre la conducta y el estado de ánimo se basan en la interacción de múltiples procesos cognitivos y afectivos. Por una parte, la carencia de una recompensa deseada y la expectativa de obtenerla motivan la conducta y la orientan hacia su búsqueda. Por otra, cuando las consumimos, las poseemos o simplemente estamos en su presencia, las recompensas producen placer y bienestar. Las recompensas, por tanto, tienen al menos dos propiedades psicológicamente relevantes, las motivacionales y las hedónicas, relacionadas respectivamente con el deseo y con el placer. Investigaciones realizadas con animales de experimentación han permitido diferenciar dentro del circuito de recompensa sistemas neuronales especializados en cada una de estas funciones. Aunque aparentemente resulte contradictorio, deseo y placer pueden a veces dissociarse, de forma que podemos llegar a no desear algo que nos gusta o, al contrario, anhelar poseer algo que en realidad no nos provoca un gran placer.

La interpretación tradicional suponía que la actividad de la dopamina estaba relacionada con las propiedades hedónicas de las recompensas. Según esto, una buena comida, una cara especialmente atractiva o una dosis de una droga estimulante producirían un incremento transitorio del nivel de dopamina en el núcleo *accumbens*, lo que subjetivamente se traduciría en una sensación de placer. De esta hipótesis viene la difundida creencia de que la dopamina es algo así como la molécula del placer en el cerebro. Sin embargo, a lo largo de los años se han ido acumulando más y más pruebas que indican que esta

interpretación no es del todo correcta y que la dopamina se halla más relacionada con la motivación y la anticipación que con las propiedades hedónicas de las recompensas. Un dato bien ilustrativo es que una drástica reducción de los niveles de dopamina cerebral en animales de experimentación no altera la respuesta hedónica del animal a la comida, pero sí anula su motivación para obtenerla. Dicho de otro modo, aunque haya perdido la motivación para obtenerlo, el animal cuyo cerebro ha sido privado de dopamina sigue gustando del alimento si se le pone directamente en la boca. En resumen, más que la molécula del placer, la dopamina parece ser la molécula de la motivación.

Los psicobiólogos Kent Berridge y Terry Robinson han desarrollado una teoría de la recompensa y su control cerebral basada en la distinción entre los procesos de «desear» y «gustar» o, dicho de otro modo, entre la motivación y el placer. De acuerdo con esta teoría, los procesos motivacionales relacionados con la obtención de recompensas, los que generan el deseo y ponen en marcha la conducta para realizarlo, dependen de la actividad del sistema meso-córtico-límbico y de la dopamina como neurotransmisor. ¿Cuál es entonces el substrato cerebral del placer? Curiosamente, el espacio que el cerebro dedica a esta importante función parece ser relativamente restringido. Los estudios más recientes con modelos animales indican que la experiencia del placer depende de la actividad registrada en pequeños puntos calientes o «gatillos» neuronales distribuidos por distintas regiones cerebrales. Por ejemplo, dentro del núcleo *accumbens*, ese punto caliente comprende sólo un milímetro cúbico de tejido neuronal en el cerebro de la rata y un centímetro cúbico en el cerebro humano, lo que equivale aproximadamente al 10% del volumen de esa estructura cerebral. Se han encontrado también pequeños puntos calientes en otras regiones del sistema de recompensa, como la corteza orbitofrontal o un área denominada pálido ventral, situada en la base del cerebro anterior y cuya lesión en animales de experimentación anula por completo el gusto por la comida hasta el punto de volverla repugnante.

De acuerdo con los estudios más recientes, el pálido ventral desempeña un papel crucial en la generación de las sensaciones de placer. Dentro de esa estructura, un grupo de neuronas que ocupa apenas un centímetro cúbico de tejido cerebral parece guardar una de las más importantes claves cerebrales

del placer. Su actividad se incrementa en presencia de recompensas naturales y artificiales y la estimulación mediante fármacos opiáceos hace que se duplique la sensación placentera producida por algo tan simple como tomar una bebida dulce. Dato importante, la dopamina no es efectiva para accionar los gatillos del placer. Otros neurotransmisores, como los opiáceos o los cannabinoides cerebrales, son los que llevan a cabo esa tarea. No por casualidad se trata de las réplicas naturales, producidas por el propio cerebro, de dos tipos de drogas que los seres humanos vienen consumiendo desde tiempo inmemorial.

Los puntos calientes del sistema de recompensa son especialmente sensibles a la presencia de estímulos relacionados con las cosas que más nos gustan. Puntos críticos como los del pálido ventral, por ejemplo, responden incluso a estímulos que no son percibidos conscientemente. En algunos estudios se ha presentado a los participantes imágenes atractivas durante unas milésimas de segundo. Duraciones tan cortas impiden que el estímulo acceda a la conciencia, pero no que sea registrado y procesado por el cerebro. Técnicas como ésta permiten estudiar la llamada visión subliminal o inconsciente, es decir, la percepción que tiene lugar por debajo del umbral de intensidad o duración requerido para darnos cuenta de lo que percibimos. De este modo se ha logrado demostrar que la percepción subliminal de imágenes eróticas o de señales asociadas a la droga en adictos a la cocaína, produce un incremento en la actividad neuronal de puntos sensibles del placer como el pálido ventral. Esta observación indica que los sistemas cerebrales de detección del placer son especialmente sensibles a cualquier señal que pueda indicar la proximidad o disponibilidad de recompensas que revisten especial importancia para el individuo.

Obviamente, el sistema de recompensa no ha evolucionado para que disfrutemos de la pornografía o nos hagamos adictos a las drogas, pero, de algún modo, estos estímulos consiguen ponerlo en marcha. En el caso de las drogas, esto es así porque las moléculas correspondientes encuentran en el cerebro receptores a los que acoplarse. Desde el punto de vista del cerebro, no importa de dónde viene la molécula. Si se acopla al receptor adecuado será dada por buena. En cuanto a las imágenes eróticas, su asociación previa con el sexo y la reproducción es la que hace el trabajo. El sistema de recompensa no

parece ser muy exigente a la hora de discriminar lo natural de lo artificial o los placeres sanos de los potencialmente destructivos. Estas distinciones más sutiles dependen de procesos cognitivos más sofisticados que permiten sopesar daños y beneficios y modular en función de ese cálculo de utilidad la sensibilidad del sistema de recompensa o ejercer un control superior sobre la conducta en prevención de posibles consecuencias adversas. El problema es que la enorme potencia hedónica de las drogas y otros estímulos generadores de placer hace que la sobreestimulación reiterada del sistema de recompensa lo altere de tal forma que el individuo pierde finalmente el control sobre sus actos para convertirse en exclusivo servidor de su adicción.

3. Cuando el placer pierde su brillo

Sólo cuando algo es realmente deseado, su consecución y disfrute nos resultan placenteros. Pero hay ocasiones en que las recompensas grandes o pequeñas que la vida nos ofrece pierden su atractivo, cuando las cosas que antes nos estimulaban aparecen desprovistas de su brillo usual. Esta situación, que para la mayoría de nosotros sólo se da de vez en cuando y por cortos periodos de tiempo, puede convertirse para algunas personas en el modo habitual de sentir la realidad que les rodea. ¿Puede esto deberse a un fallo en el funcionamiento del sistema de recompensa?

Depresión: ¿un trastorno motivacional?

El placer sensorial es uno de los motivadores más potentes de la conducta humana. La experiencia de las sensaciones placenteras producidas por recompensas como la comida, el sexo o la música y la capacidad para disfrutar de ellas son condiciones indispensables para el bienestar individual y contribuyen de forma significativa a la salud psicológica. La ausencia de recompensas o la pérdida del gusto por su disfrute y de la motivación para conseguirlas contribuye, en cambio, a empeorar nuestro estado de ánimo. Una

de las causas de la tristeza es, precisamente, la sensación real o imaginaria de que la vida no ofrece suficientes oportunidades para el placer. En algunos casos puede ocurrir que, a pesar de que las recompensas estén a nuestro alcance, no nos sintamos suficientemente motivados para disfrutar de ellas o incluso que hayamos perdido la capacidad para el placer. Anhedonia, es decir, ausencia de placer, es el nombre técnico que se le da a esa poco atractiva condición. La anhedonia es un rasgo psicológico característico de varios trastornos psicológicos y encuentra su máxima expresión en ese grave y peligroso trastorno emocional llamado depresión. La relación entre recompensa y estado de ánimo es una pescadilla que se muerde la cola. Las recompensas mejoran el estado de ánimo y un ánimo positivo aumenta, a su vez, la sensibilidad a los placeres de la recompensa y la motivación para buscarla. Complementariamente, la ausencia de recompensas empeora el estado de ánimo y un ánimo negativo complica aún más las cosas al hacer que la recompensas dejen de apetecernos.

La presencia de un estado de ánimo negativo mantenido durante un largo periodo de tiempo es la principal característica de los trastornos depresivos. La anhedonia, la ausencia de expectativas de futuro y la escasa motivación para emprender conductas activas en busca de posibles recompensas son también características de este trastorno. De acuerdo con ello, en algunos estudios se ha observado en personas depresivas una reducida actividad neuronal del estriado ventral en anticipación de distintas recompensas. Parece existir, además, una relación inversa entre la respuesta cerebral a las recompensas y la gravedad de la sintomatología depresiva, de forma que las personas en las que esa actividad es menor, también son las que manifiestan síntomas más severos. Por otra parte, también se han descrito alteraciones estructurales y neuroquímicas en el cerebro de personas depresivas, como una reducción del volumen de materia gris o una inferior actividad dopaminérgica en distintas regiones del sistema de recompensa. Actualmente se está probando de forma experimental la eficacia de la estimulación cerebral profunda en pacientes que no responden al tratamiento psicológico ni farmacológico. Este tratamiento consiste en la estimulación controlada y selectiva de algunas regiones cerebrales con el fin de fomentar su actividad neuronal. Una de las dianas de la estimulación es precisamente el sistema estriado ventral, con el

objetivo de contrarrestar el deficiente procesamiento de la recompensa y la reducida motivación que los pacientes depresivos muestran para la iniciación de conductas activas.

La teoría del deseo y el placer propuesta por Berridge y Robinson podría permitirnos entender y quizá modificar algunas de las importantes alteraciones de la conducta y la experiencia subjetiva características de trastornos como la depresión o las adicciones. Aunque la anhedonia es un rasgo característico de los trastornos depresivos, no está del todo claro cuál es el mecanismo que la explica o qué aspecto del procesamiento de las recompensas es el que se ve alterado. Algunos especialistas consideran que la anhedonia de las personas depresivas no se debe en realidad a la reducción de su capacidad para experimentar placer, sino a la ausencia de motivación para obtenerlo. Según esto, el depresivo conservaría su capacidad para el placer, pero carecería del ánimo y la motivación suficientes para anticipar los efectos de las recompensas y hacer lo necesario para procurárselas. En términos de la teoría de Berridge y Robinson, los procesos deficitarios en la depresión no serían los relacionados con el placer, sino los que tienen que ver con la motivación y el deseo. De hecho, un objetivo central del tratamiento psicológico de la depresión es fomentar y fortalecer la motivación, instando al paciente a realizar conductas activas que le permitan comprobar por sí mismo que su comportamiento puede lograr pequeñas recompensas en su vida diaria. Los tratamientos orientados a la activación conductual han demostrado ser al menos tan eficaces como otros enfoques psicoterapéuticos menos orientados a la modificación del comportamiento y más centrados en los aspectos cognitivos de la depresión. Es posible que la eficacia de la terapia por estimulación cerebral profunda antes comentada se deba también a la movilización de los procesos motivacionales, aunque lograda en este caso a través de la intervención directa sobre el cerebro.

¿Qué ocurre en el cerebro adicto?

La anhedonia es también un rasgo característico de los trastornos adictivos, cuya principal característica neurobiológica es la alteración del normal

funcionamiento del sistema de recompensa mediado por la dopamina. Muchos expertos consideran que esta explicación es aplicable tanto a la adicción a drogas como a las llamadas adicciones conductuales, como la ludopatía o el uso compulsivo y descontrolado de las nuevas tecnologías. Una de las consecuencias del funcionamiento anómalo del sistema de recompensa debido al consumo descontrolado de drogas es la disociación entre la motivación y la recompensa o, dicho de otro modo, entre el deseo y el placer. Mientras que en la depresión falla la motivación para buscar recompensas, la adicción se caracteriza por una intensa, continua y obsesiva motivación para la obtención de un solo tipo de recompensa, la droga o, en su caso, la actividad en la que el adicto se halla atrapado. Mientras que el depresivo puede ser insensible a las señales que le indican la proximidad de algo apetecible, el adicto ha desarrollado una exagerada sensibilidad a cualquier indicio relacionado con su droga o actividad deseada. La investigación neurocientífica indica que la estimulación repetida del sistema de recompensa, sobre el que actúan todas las drogas de abuso, produce cambios funcionales y estructurales que alteran de forma irreversible su normal funcionamiento. Algunos datos indican que se llega más fácil y rápidamente a este estado cuando se alternan episodios de consumo masivo separados por un cierto espacio de tiempo. Un patrón que recuerda tristemente a los nuevos hábitos juveniles de consumo de alcohol en fin de semana.

El consumo continuado de drogas como los estimulantes o los opiáceos aumenta de forma desmedida la sensibilidad del sistema de recompensa a cualquier estímulo o señal relacionada con la droga y su consumo. El concepto técnico que se utiliza para describir este proceso es el de «sensibilización del incentivo». El término «incentivo» se refiere aquí al poder motivador de los estímulos y señales externas e internas asociadas a la droga, su capacidad para captar la atención y hacer sentir al adicto que necesita urgentemente otra dosis. Este concepto se contrapone a veces al de «impulso», también relacionado con la motivación y la recompensa. Podemos comprender fácilmente la diferencia entre estos conceptos motivacionales si pensamos en las dos formas en las que el cerebro genera el apetito por la comida. La más obvia es a través de la sensación de hambre producida por la privación de alimento. La privación produce un estado interno que nos mueve a la búsqueda y consumo de

alimentos hasta que la sensación de hambre es sustituida por la de saciedad. Pero a veces seguimos comiendo a pesar de sentirnos saciados o nos vemos tentados a comer aunque no estemos especialmente hambrientos. Cuando así ocurre, la culpa es de la motivación de incentivo, es decir, el estado subjetivo de deseo generado por cosas como el olor, el sabor o el aspecto de un plato apetitoso. Como saben perfectamente los publicistas, las propiedades sensoriales de los alimentos y todos los estímulos y señales asociados con ellos nos atraen hacia la comida con independencia de su valor para saciar el hambre y hacen que, por lo general, consumamos mucho más de lo que nuestro organismo necesita. La eficacia de la publicidad sobre alimentos y bebidas se basa en ese simple principio.

De acuerdo con las modernas teorías de la motivación, qué, cómo, cuándo y cuánto comemos depende de dos fuerzas motivadoras principales que actúan sobre la conducta: el impulso y el incentivo. Por decirlo de forma sencilla, el impulso tiene que ver con la necesidad objetiva de alimentarse y el incentivo con el deseo suscitado por todo lo demás. Que sea este «todo lo demás» depende de factores relacionados con la particular historia de aprendizaje de cada uno y con las múltiples influencias culturales que dan a los alimentos y al acto de comer un valor afectivo y simbólico que poco tiene que ver con la satisfacción de impulsos biológicos básicos. Un modelo similar puede aplicarse a muchos otros ejemplos de conducta motivada, entre ellos el consumo de drogas.

Volviendo a la adicción, la sensibilización de los procesos de incentivo a consecuencia del consumo continuado termina produciendo una discrepancia entre la intensa y casi exclusiva obsesión por la droga y el placer real producido por su consumo. El consumo continuado lleva al estancamiento o a la progresiva reducción del placer producido por la droga, con lo que el resultado final es la disociación entre el «desear» y el «disfrutar». El adicto se ve incapaz de resistirse al potente influjo de los estímulos, situaciones y pensamientos que le recuerdan a la droga, se empeña de forma compulsiva en su búsqueda y consumo, pero no obtiene a cambio un placer proporcional. Todo lo que le recuerda al objeto de su adicción tiene para el adicto un enorme poder de atracción o, dicho más técnicamente, un alto valor de incentivo.

La gran influencia de los estímulos de incentivo sobre la conducta del adicto ha sido demostrada claramente en numerosos estudios que han evaluado la respuesta cerebral a la presentación de imágenes relacionadas con la droga, como la visión de los utensilios empleados para su consumo en adictos a la heroína o la cocaína, de la botella o el vaso lleno de *whisky* para el alcohólico o de los sonidos e imágenes multicolores de las máquinas tragaperras para el adicto al juego. Todos esos estímulos tienen la capacidad de activar regiones clave del sistema de recompensa, como la corteza orbitofrontal. Una observación especialmente significativa es que en los adictos a la cocaína la presentación de señales asociadas a su consumo produce un incremento de los niveles de dopamina en el sistema de recompensa que va además acompañado de un intenso deseo de consumir la droga. Las señales que el adicto ha aprendido a asociar con la droga, por tanto, adquieren un gran poder sobre su conducta al ser capaces de generar por sí solas un intenso deseo por la droga.

Si la motivación de incentivo para el consumo de la droga es activada por las señales y contextos relacionados con ella, ¿cómo actúa ese otro proceso motivacional al que hemos llamado impulso? Hay que decir en primer lugar que el consumo de drogas puede tener efectos muy diferentes a corto y largo plazo dependiendo, por supuesto, del tipo de sustancia, pero también de los patrones de consumo y de factores individuales como la personalidad o el estado de ánimo (se sabe, por ejemplo, que el estrés es un factor facilitador en el desarrollo de la adicción). Por otra parte, el estado adicto es el punto final de un proceso que normalmente pasa por distintas fases, cada una de ellas regida por mecanismos diferentes. La sensibilización del incentivo es una característica del estado adicto que, según algunos expertos, puede incluso mantenerse después del tratamiento de desintoxicación (no hay más que pensar en el intenso deseo que experimentan muchos exfumadores simplemente al ver un paquete de cigarrillos u oler el humo del tabaco). Otra característica del estado adicto es la aparición de reacciones físicas y psicológicas altamente aversivas al interrumpir bruscamente el consumo de la droga, el llamado síndrome de abstinencia. Como es bien sabido, la forma más rápida y eficaz de poner fin a ese estado es una nueva dosis. Podríamos decir que el síndrome de abstinencia desempeña respecto al consumo de la droga el mismo papel motivacional que el hambre respecto al acto de comer. Del mismo modo que

comer le hace pasar al hambriento del hambre a la saciedad, una nueva dosis le permite al adicto pasar del desagradable estado de abstinencia al estado de calma y relativa satisfacción producido por la nueva dosis. Pero, aunque en el adicto la interrupción del síndrome de abstinencia es un poderoso motivo para el consumo, no es el único ni necesariamente el más frecuente. La teoría de la sensibilización de incentivo explica precisamente por qué personas que han logrado superar su adicción y que no sufren ya el síndrome de abstinencia pueden recaer y volver de nuevo al estado adicto. Los estímulos de incentivo, que siguen conservando toda su potencia, pueden hacer que la persona desintoxicada caiga en la tentación y vuelva a quedar atrapado en el ciclo de la adicción.

4. Variedades del afecto positivo: emociones de la acción

Disfruta lo que haces: emoción y experiencias de flujo

La experiencia básica de placer o bienestar puede tomar formas muy diversas dependiendo de cuál sea su origen. Experiencias placenteras cualitativamente distintas dan origen a emociones y experiencias afectivas igualmente diferenciadas. Además de las asociadas al placer sensorial, otras experiencias afectivas positivas son las producidas por la constatación de logros o triunfos personales, como el orgullo (emociones de logro), o las asociadas a la realización de ciertas actividades (emociones de acción). En este último caso, la intensa concentración en una actividad preferida y que se domina a la perfección puede dar origen a una especial sensación de autorrealización y sincronía con el entorno que nos lleva a olvidarnos de todo lo que es ajeno a la tarea y nos hace perder la noción del tiempo. La motivación para actuar no la proporciona la expectativa de ninguna recompensa externa, sino el disfrute de la propia tarea. No se trata de conseguir, sino de hacer. Se dice por esto que en estas ocasiones la conducta está guiada por la motivación intrínseca en vez de por la motivación extrínseca, que depende de la expectativa de recompensas externas como el dinero o la aprobación social.

Los psicólogos que han estudiado las experiencias de inmersión en actividades preferidas se refieren a ellas como «experiencias de flujo», momentos en los que la conducta parece fluir por sí sola, suavemente, con atención exclusiva, esfuerzo justo y máxima precisión. Un pianista experto concentrado en la interpretación de una larga sonata o un artesano absorto en la tarea de tallar la madera para producir un objeto perfecto son posibles ejemplos de estas experiencias. Algo así como el polo opuesto al aburrimiento. Las experiencias de flujo, afirman algunos psicólogos, constituyen el máximo ejemplo de una vida feliz, que se alcanzaría mediante «la completa absorción en lo que uno está haciendo». Aun habiendo desconectado de los aspectos irrelevantes de su entorno, en la experiencia de flujo el individuo no está absorto en sí mismo sino en la tarea que está realizando. Las principales características de este estado son la reducción de la conciencia de sí mismo y la concentración máxima y exclusiva en el presente y en los estímulos más relevantes para la tarea. Por otra parte, el alto nivel de destreza requerido otorga al sujeto una potente sensación de control y hace al mismo tiempo que la conducta dependa, en gran parte, de procesos implícitos y automatizados que no requieren una planificación momento a momento. En el plano afectivo, el flujo se experimenta como un estado de intenso bienestar, autosatisfacción y realización personal.

No abundan los estudios sobre la psicofisiología de las experiencias de flujo, quizá porque no es fácil crear en el laboratorio situaciones adecuadas para producirlas. La mayoría de los estudios existentes han recurrido a los videojuegos como ejemplo típico de tarea absorbente que puede dar origen a algo similar a las experiencias de flujo. Estos estudios indican que estas experiencias conllevan un estado de relativa relajación, caracterizado por una respiración más profunda y una menor variabilidad de la actividad cardíaca. Estas características fisiológicas sugieren que en la situación de flujo predomina la actividad del sistema parasimpático. Recordemos que, mientras que la actividad de la rama simpática del sistema nervioso autónomo incrementa la activación hormonal y fisiológica en situaciones que requieren una conducta rápida y enérgica, la del parasimpático favorece las labores de mantenimiento del organismo en estado de reposo o relajación. Aunque a primera vista pueda resultar contradictorio con lo recién dicho, la experiencia

de flujo va también acompañada de un relativo incremento en los niveles de cortisol, la llamada «hormona del estrés». En realidad, la relación existente entre experiencia de flujo y cortisol muestra una relación compleja que adopta la forma de U invertida, lo que quiere decir que niveles medios de cortisol la favorecen, quizá al promover la movilización de energía en pro de una actividad mental intensa, mientras que niveles reducidos o excesivamente elevados interfieren con ella.

La naturaleza compleja de las experiencias de flujo se refleja en el variado patrón de cambios en múltiples sistemas cerebrales observado en los estudios de neuroimagen. Se han observado, por una parte, reducciones de la actividad neuronal en regiones como la corteza prefrontal media y la corteza cingulada posterior, territorios pertenecientes a la llamada «red cerebral por defecto», de la que hemos hablado en el Capítulo 1. Normalmente, esta red muestra mayor actividad cuando dejamos vagar la mente, entregándonos a nuestros propios pensamientos y desentendiéndonos temporalmente del mundo exterior. La desactivación de la red por defecto en el curso de la experiencia de flujo es coherente con la reducción de la consciencia de sí mismo, que es una característica central de ese estado.

Otra estructura cerebral cuya actividad se ve reducida durante las experiencias de flujo es la amígdala. La razón de esta reducción es fácil de comprender. El flujo se experimenta como un estado afectivamente positivo y de relativa relajación, lo cual es incompatible con la actividad de la amígdala, implicada en la producción de estados emocionales negativos y de elevada excitación. De acuerdo con el tono afectivo de las experiencias de flujo, se ha observado un incremento en la actividad neuronal del sistema de recompensa en estudios de videojuegos, especialmente en los momentos en que el sujeto experimenta una mayor sensación de control y dominio de la tarea. Finalmente, se han descrito incrementos asociados a la experiencia de flujo en regiones como la corteza insular, áreas inferiores de los lóbulos frontales y ganglios basales, regiones que forman parte de una red extendida cuya actividad tiende a ser más intensa durante la realización de tareas complejas que exigen un control mantenido y deliberado de recursos cognitivos como la atención o la memoria operativa.

Buscando sensaciones

La experiencia de flujo no es la única manifestación de las emociones ligadas a la acción. Actividades que producen un incremento del nivel de activación del organismo, sea porque implican una intensa actividad física o porque crean una especial tensión psicológica, dan también origen a experiencias afectivas positivas que muchas personas encuentran especialmente gratificantes. El ejemplo más conocido lo constituye el llamado «subidón» del corredor, un estado de bienestar y relativa euforia inducido por el ejercicio físico aeróbico o cardiosaludable realizado durante un periodo relativamente prolongado de tiempo. La sensación pasajera de bienestar inducida por el ejercicio aeróbico se debe fundamentalmente a factores hormonales y neuroquímicos, como el incremento de los niveles de cortisol y de neurotransmisores como la dopamina o los endocannabinoides. Una forma menos saludable y más arriesgada de subidón afectivo es la que algunas personas experimentan en situaciones de elevada tensión psicológica generada por la incertidumbre de una recompensa esperada, como ocurre en los juegos de azar y que encuentra su manifestación más dramática en el juego patológico o ludopatía.

Por suerte o por desgracia, no todas las personas somos igualmente propensas a experimentar estas emociones de acción. El psicólogo de la personalidad Marvin Zuckerman ha descrito un rasgo denominado «búsqueda de sensaciones», referido a la tendencia a «la búsqueda de sensaciones y experiencias variadas, nuevas, intensas y complejas y a la disposición a asumir por ello riesgos físicos, sociales, legales o económicos»²². Las personas que obtiene altas puntuaciones en los cuestionarios diseñados para medir este rasgo experimentan un intenso placer en la realización de actividades que para otras pueden resultar aterradoras, como conducir un automóvil a alta velocidad o practicar deportes de riesgo que suponen un serio peligro para su vida. Los buscadores de sensaciones pueden mostrar perfiles de personalidad muy variados que van desde los entusiastas de la actividad física y la estimulación sensorial continua (la variante aventurera del rasgo), a quienes buscan variedad y estimulación en la experiencia artística o en los viajes y el contacto con culturas diferentes.

Algunos estudios sugieren que tanto la tendencia a tener experiencias de flujo como la atracción hacia actividades físicas extremas o la búsqueda continua de novedades están relacionados con variaciones en la neurotransmisión dopaminérgica en el sistema de recompensa que parecen tener una base genética. Por ejemplo, la disponibilidad de receptores para la dopamina en el sistema estriado parece estar relacionada positivamente con la tendencia a experimentar experiencias de flujo. Hay también abundante evidencia de la relación entre la dopamina y la tendencia a la búsqueda de sensaciones. Por una parte, la respuesta dopaminérgica en el sistema estriado ante señales que anuncian una recompensa inmediata es mayor en las personas que manifiestan este rasgo. Por otra, las diferencias individuales en la tendencia a la búsqueda de sensaciones están asociadas a variaciones en genes que codifican receptores de la dopamina. Igual que los datos que indican que ciertas variaciones genéticas aumentan la sensibilidad de sistemas cerebrales, como la amígdala, a las señales de potenciales amenazas, estos resultados demuestran una similar influencia genética sobre la sensibilidad del cerebro a las recompensas y a sus señales asociadas.

Pero ¿cómo se explica entonces que una mayor sensibilidad a la recompensa lleve en unos casos a preferir las positivas experiencias de flujo y en otros a implicarse en comportamientos que pueden tener consecuencias catastróficas? La respuesta parece estar en la variación de otro importante rasgo psicológico, la impulsividad. La impulsividad, es decir, la tendencia a la satisfacción inmediata de los deseos sin tener en cuenta las consecuencias que ello pueda tener a largo plazo, es el polo opuesto al autocontrol. La búsqueda de sensaciones, especialmente en su vertiente aventurera, va normalmente asociada a una elevada impulsividad y a un fuerte gusto por el riesgo. Por el contrario, la tendencia a las experiencias de flujo conlleva un elevado grado de autocontrol. La combinación de una elevada sensibilidad a la recompensa con diferentes grados de autocontrol o impulsividad da lugar a perfiles de personalidad claramente diferenciados. Una elevada sensibilidad a la recompensa sumada a un reducido autocontrol da origen a un estilo motivacional orientado a la aventura y la búsqueda de sensaciones intensas, con escasa consideración por el riesgo. En cambio, cuando la sensibilidad a la recompensa va acompañada de una buena dosis de autocontrol, la motivación

tiende a orientarse hacia la búsqueda de situaciones que pueden dar origen a experiencias intensamente placenteras en un entorno seguro y controlable. Estas distinciones pueden tener consecuencias prácticas de enorme importancia. Numerosos estudios apuntan a que el perfil resultante de la combinación de hipersensibilidad del sistema de recompensa, búsqueda de sensaciones e impulsividad es un importante factor de riesgo para el desarrollo de patologías como la drogadicción o el juego patológico.

5. Placeres superiores: el arte como recompensa

Placer estético, placer sensorial

Existe una forma de placer que no tiene que ver con el puro disfrute sensorial, la satisfacción de necesidades vitales o la realización de acciones preferidas. Una forma de placer más bien contemplativa que tampoco está relacionada con la obtención de una recompensa concreta o con la proximidad de otros seres humanos y que, sin embargo, todos somos capaces de experimentar en mayor o menor medida. Se trata del placer estético, el placer derivado de la mera contemplación de objetos que nos parecen bellos y que son manifestación de esa peculiar creación humana llamada «arte». Una experiencia que, como argumentaba Kant al reflexionar sobre la naturaleza del arte y la belleza, se caracteriza por un estado de «interés desinteresado» en el que un objeto es apreciado y disfrutado en ausencia de toda expectativa de poseerlo. La ciencia del cerebro se ha adentrado también en este ámbito de la actividad humana que hasta ahora se había mantenido al margen de la biología y que tradicionalmente había sido coto exclusivo de las humanidades. Un nuevo campo de investigación denominado «neuroestética» ha comenzado a desvelar algunos de los secretos del modo en que los seres humanos apreciamos y percibimos las obras de arte, aplicando los métodos y conceptos de la neurociencia y la psicología cognitiva.

Algunos estudios han investigado la percepción artística desde el punto de vista del procesamiento sensorial, tratando de descubrir cómo el cerebro

construye la representación mental de la obra contemplada y de desvelar el modo en que, de forma más o menos consciente, los artistas se valen de las peculiaridades de nuestra mente para crear obras más atractivas o novedosas. Un ejemplo bien conocido lo constituyen los estudios del neurobiólogo Semir Zeki sobre percepción y artes visuales. Pero hay otro aspecto que es primordial, al menos desde el punto de vista subjetivo: el arte como objeto de placer, como experiencia provocadora de afectos y emociones, el arte como un tipo particular de recompensa que también motiva nuestra conducta. ¿Hay alguna relación entre el placer estético y otras variantes menos elevadas del placer como las que hemos mencionado hasta ahora?, ¿nos ayuda la neurociencia de la recompensa a entender por qué y de qué forma disfrutamos de una obra de arte?, ¿a explicar por qué hay músicas que nos repelen y otras que nos producen una emoción tan intensa?

Por razones que no son difíciles de entender, el foco del estudio de las bases cognitivas y cerebrales del arte se ha situado más sobre el lado del espectador que sobre el del creador. Es fácil hacer que alguien contemple una obra de arte (o su reproducción) en el laboratorio y pedirle que la valore mientras registramos su actividad cerebral y fisiológica. Mucho más complicado resulta seguir el proceso creativo de un artista y hacerlo en las restrictivas condiciones del laboratorio psicológico. Aunque se han hecho algunos avances en el estudio del proceso creativo en condiciones medianamente realistas (ver la sección sobre creatividad del Capítulo 3), el grueso de la investigación sobre la neurociencia del arte versa sobre lo que ocurre dentro de la cabeza del espectador.

La actividad artística puede entenderse, en un sentido amplio, como la creación de obras y objetos cuyo aspecto es apreciado con independencia de su funcionalidad o utilidad prácticas, que se disfrutan con esa disposición de interés desinteresado mencionada por Kant. Visto así, hay arte no sólo en los cuadros que contemplamos en los museos o en la música que escuchamos en estadios o salas de conciertos. También se da en los edificios, en las colecciones de ropa de moda, en las carrocerías de los automóviles y en el diseño de la enésima versión de ese teléfono móvil que al instante se convierte en objeto colectivo de deseo. Por variados que puedan ser los objetivos del creador de esos objetos, hay uno que siempre ha de cumplirse. El objeto o la

obra en cuestión deben tener la capacidad de gustar, atraer y producir algún tipo de placer a quien la compra o a quien simplemente la contempla. En definitiva, el objeto artístico debe actuar como una recompensa y ser capaz de generar reacciones y sensaciones emocionales.

Aun compartiendo algunos mecanismos neurobiológicos, las emociones estéticas y el placer derivado de la contemplación del arte no son simples variantes del placer sensorial. El placer estético es una experiencia subjetiva derivada de la combinación del conocimiento y la experiencia personal y cultural con elementos perceptivos, afectivos y motivacionales. Se ha discutido mucho sobre la posible existencia de universales estéticos según los cuales los seres humanos tendemos por naturaleza a preferir ciertos patrones de estimulación sobre otros, como la simetría frente a la asimetría en las formas visuales o la consonancia frente a la disonancia en la música. Sin embargo, la posible existencia de esos universales no es incompatible con el hecho evidente de que el gusto estético está fuertemente influido por el aprendizaje y la cultura, como atestigua el continuo fluir de las modas en el arte, el vestido, el diseño o la decoración de interiores. Como ha señalado el neurólogo Anjan Chatterjee, la experiencia estética surge de la interacción de una triada de procesos relacionados con la evaluación afectiva, los procesos percepto-motores y el contexto personal y cultural del propio sujeto.

Las personas mostramos grandes diferencias en nuestras preferencias artísticas debido a factores que son tanto culturales como individuales. El arte es uno de los elementos esenciales que definen a una cultura. Su continua evolución, el cambio de los criterios estéticos y la sucesión de modas y estilos, forman parte indisoluble de la evolución de las sociedades. Las variaciones en el gusto individual se deben en parte a la influencia del momento social y cultural, pero reflejan también las particulares disposiciones y preferencias de cada persona. Estilos de música o pintura que para unos son fuente de intenso placer resultan para otros aburridos o incomprensibles. Sean referidas al arte más elitista o a las manifestaciones más populares del arte de masas, las preferencias estéticas son tan características de nuestra identidad personal como nuestros rasgos de carácter.

La emoción estética y el sistema de recompensa

A pesar de la gran variabilidad individual en las preferencias artísticas, los estudios más recientes indican que el disfrute del arte se basa en un mecanismo común que no es otro que la actividad del sistema de recompensa del cerebro. Los cuadros y esculturas que más apreciamos, la contemplación de edificios que nos resultan bellos y armoniosos o la escucha de nuestra música favorita activan este sistema de modo similar a como lo hacen recompensas naturales como la comida o incentivos sociales como las alabanzas o el dinero. Numerosos estudios han demostrado que regiones del sistema de recompensa como la corteza orbitofrontal, la corteza insular o el estriado ventral son activadas por la música y por la visión de obras pictóricas o arquitectónicas y que la intensidad de esa activación es acorde con la evaluación que el sujeto hace de la obra. Como era de esperar, las obras más preferidas son las que producen mayor activación. Y atestiguando el poder de atracción de objetos cotidianos que no son oficialmente considerados como artísticos, se ha demostrado que las imágenes de modelos de coches especialmente preferidos o codiciados también ponen en marcha el circuito cerebral de la recompensa. Un último resultado interesante es que las obras de arte que a cada persona le resultan más impactantes o conmovedoras implican la activación adicional de la red cerebral por defecto, cuya actividad se intensifica cuando pensamos en nosotros mismos o cuando expresamente evaluamos la realidad desde el punto de vista más subjetivo y personal. Esta observación sugiere que las obras de arte que más nos conmueven producen sensaciones y reacciones emocionales tan potentes que no podemos dejar de relacionarlas con nuestro propio yo. A pesar de su carácter simbólico, las experiencias artísticas más profundas poseen un componente de implicación personal que las acerca notablemente a las experiencias emocionales suscitadas por sucesos que tienen para el sujeto una relevancia personal directa.

Como ya se ha dicho, la apreciación del arte se halla fuertemente influida por factores culturales. Podríamos decir incluso que la cultura es el contexto mental en el que tiene lugar la experiencia estética. Una característica fundamental de los procesos cognitivos es su sensibilidad al contexto y los

procesos que subyacen a nuestra percepción del arte no son una excepción. «Contexto» puede significar aquí muchas cosas, desde el entorno físico en que se contempla una pintura a nuestro conocimiento sobre la obra y el artista que la creó o incluso al precio que sabemos que se ha pagado por ella en una subasta. El propio hecho de que algo sea oficialmente designado como «arte» altera nuestra consideración hacia ello, como en el caso de la famosa obra *La Fuente* de Marcel Duchamp. Al ser invención de ese particular artista y hacerse un hueco en una exposición junto a las obras de otros artistas, un objeto artístico tan improbable como un urinario invertido logró finalmente alcanzar el estatus de icono del arte moderno y, como tal, ser apreciado y valorado por muchas de las personas que lo contemplan.

La apreciación de una obra de arte rara vez tiene lugar en un vacío contextual. Por el contrario, toda la información directa o indirectamente relacionada con la obra que contemplamos influye en nuestro juicio sobre la misma y determina el modo en que respondemos a ella. No es lo mismo contemplar el *David* de Miguel Ángel o *Las Meninas* de Velázquez que una escultura o una pintura de igual calidad, pero de autores desconocidos, o contemplar el original de esas obras o una imitación, por perfecta que ésta sea y siempre que sepamos que no es la obra auténtica. Obras como las citadas se hallan revestidas de significado como símbolos compartidos de toda una cultura y como tales son contempladas con una mezcla de reverencia y arrobamiento que dan a la experiencia estética un tinte casi religioso. Un ejemplo más modesto, pero igualmente convincente, de la importancia del contexto, procede de un estudio en el que los participantes veían imágenes de pinturas abstractas, algunas de las cuales aparecían marcadas como procedentes de una galería de arte y otras como creadas por ordenador en el propio laboratorio. En realidad, todas las imágenes mostraban obras de artistas reales y simplemente variaba arbitrariamente la categoría en la que se las incluía. Al pedirles una evaluación de cada una de las obras, los participantes dieron valoraciones significativamente superiores a las obras que creían provenían de una galería de arte. ¿Respondían simplemente adaptándose a la creencia de que las obras de arte «de verdad» por fuerza han de ser mejores? Quizá, aunque los resultados de imagen cerebral indicaron algo bien distinto. Igual que ocurre en presencia de recompensas más

materiales, la corteza orbitofrontal respondió a la presencia de las obras de arte y, lo que es más importante, lo hizo en proporción a la valoración subjetiva de cada obra. Las obras que los participantes creían que provenían de una galería de arte fueron las que provocaron una respuesta más intensa. Las imágenes percibidas como «auténticas» obras de arte, por tanto, actuaron como recompensas más eficaces que las que supuestamente habían sido creadas por ordenador. Dicho de otro modo, las obras percibidas como auténticas realmente gustaban más.

Otro resultado interesante del estudio fue que el patrón de actividad neuronal en la corteza próxima al hipocampo y en la región anterior del lóbulo temporal (el así llamado polo temporal) era diferente dependiendo de en qué contexto se presentaban las pinturas (galería de arte u ordenador). Este dato es importante, porque esas regiones cerebrales regulan la influencia del contexto e intervienen en la activación de conocimientos semánticos asociados (por ejemplo, que las obras que se exponen en museos y galerías son valiosas y generalmente apreciadas). En resumen, los resultados de este estudio sugieren que la corteza orbitofrontal integra múltiples tipos de datos procesados de forma previa por otros sistemas neuronales, desde los puramente sensoriales a las expectativas del sujeto y la información contextual y que en función de esa integración determina el valor asignado a un objeto y la experiencia hedónica consecuente. Resultados similares se han obtenido en estudios que han analizado la influencia de la información acerca de etiquetas, marcas o precios sobre la respuesta a objetos de consumo. Aun siendo exactamente iguales, dos objetos recibirán valoraciones muy diferentes si son percibidos como productos de lujo o como simples baratijas. La próxima vez que alguien nos culpe de frivolidad y falta de criterio por alabar un vino mediocre salido de una botella con etiqueta de gran reserva no deberíamos avergonzarnos. Al fin y al cabo, es sólo la forma en que funciona nuestro cerebro.

Música y escalofríos

La música es la manifestación artística más universal y comúnmente disfrutada por la práctica totalidad de los seres humanos. Asociada a rituales y

celebraciones, disfrutada en compañía o en soledad, la música forma parte de nuestro paisaje vital y posee un fuerte poder evocador cuando queda asociada a sucesos significativos de nuestro pasado. Y, como ningún otro arte, la música es capaz de provocar un amplio rango de reacciones emocionales que van desde el júbilo a la añoranza o el llanto. La música es única entre las artes por su capacidad para evocar emociones sin necesidad de desarrollar una narrativa que remita a otra realidad que no sea la música misma. La música es un arte no representacional. Aunque frecuentemente la acompañen, la música no necesita palabras para emocionar. Todo esto la convierte en un excelente objeto de estudio para la neurociencia, en especial para la que se ocupa de estudiar el modo en que el cerebro reacciona a las cosas que más nos conmueven.

Un caso especial de respuesta emocional al arte es el de los llamados «escalofríos» musicales, una reacción corporal que puede incluir una sensación de escalofrío en la espalda, carne de gallina, un nudo en la garganta o incluso llanto, al escuchar música que nos resulta especialmente impactante o conmovedora. Estos escalofríos son en realidad una respuesta fisiológica innata a situaciones biológicamente relevantes como el contacto sexual o la percepción de un peligro inminente (los escalofríos del miedo). Pero, al ser experimentados en una situación segura y en respuesta a una estimulación altamente placentera, esos escalofríos dan lugar a una paradójica sensación de intenso placer y bienestar que es difícil de expresar con palabras. El psicólogo Robert Zatorre ha dedicado varios estudios a este fenómeno y ha descrito sus componentes fisiológicos y cerebrales. En el laboratorio es posible medir los aspectos más objetivos de los escalofríos musicales mediante el registro de reacciones fisiológicas como la respuesta electrodérmica, la dilatación de la pupila o el incremento de la frecuencia cardíaca y respiratoria, respuestas dependientes del sistema nervioso simpático y que son características de los estados de alta activación emocional. En efecto, estas respuestas acompañan a la sensación subjetiva de intensa reacción emocional a la música y lo hacen de acuerdo con las preferencias, conocimiento musical y experiencia previa del sujeto.

Hay variaciones de la dinámica de una composición musical, de la armonía o de la interpretación, que tienden a provocar reacciones emocionales

similares en la mayoría de las personas. Así, la tonalidad mayor evoca normalmente sensaciones emocionales de energía y marcialidad, mientras que la tonalidad menor tiende a evocar sensaciones de calma, nostalgia o tristeza. Sin embargo, en los estudios sobre los escalofríos musicales se observan grandes variaciones individuales que indican que las emociones musicales más intensas dependen fundamentalmente de factores subjetivos propios de cada individuo. No parece haber, por tanto, propiedades objetivas de la música que de forma casi refleja nos hagan sentir un nudo en la garganta y nos lleven indefectiblemente a experimentar la intensa experiencia emocional característica de los escalofríos musicales.

Si los escalofríos musicales son una manifestación de intenso placer estético, sería de esperar que su experiencia fuese acompañada de la activación del sistema de recompensa. Esto es, en efecto, lo que ocurre. En un estudio pionero llevado a cabo en el laboratorio de Robert Zatorre, los participantes, estudiantes con varios años de experiencia musical, eligieron los fragmentos de música clásica que a cada uno de ellos les resultaban más emocionantes y que les hacían experimentar escalofríos. Además de la medida de varios índices de activación fisiológica, se registró la actividad cerebral mediante la técnica PET mientras los sujetos escuchaban su música favorita o una pieza de control. A pesar de hallarse dentro del escáner, la mayoría de los sujetos dijeron experimentar los esperados escalofríos mientras escuchaban su música favorita. Tal y como se esperaba, los datos de neuroimagen mostraron cambios significativos en el flujo sanguíneo a regiones como la corteza orbitofrontal, el estriado ventral y la amígdala, que, como ya sabemos, forman parte de los sistemas cerebrales de la emoción y la recompensa. Una clara demostración de cómo una experiencia tan íntima y aparentemente espiritual como la emoción estética hunde sus raíces en los sistemas del cerebro que originalmente evolucionaron para favorecer nuestra supervivencia.

¹⁹ Los términos «refuerzo» y «recompensa» proceden de la psicología conductista, basada en el estudio de formas elementales de aprendizaje en animales. Una de ellas, el llamado aprendizaje instrumental, consiste en la modificación de la conducta basada en el refuerzo: las conductas seguidas de refuerzos o recompensas son fortalecidas y tienden a repetirse; las seguidas de castigo tienden a desaparecer. Las conductas que tienen como fin el logro de una recompensa se denominan conductas instrumentales. El

término «recompensa» se ha generalizado para hacer referencia a cualquier consecuencia de la conducta que hace que ésta se repita.

²⁰ La psicología evolucionista parte de la idea de que la conducta social y los procesos mentales característicos de cada especie son producto de la selección natural y que como tales tienen al menos en origen una función adaptativa relacionada con la supervivencia o la reproducción.

²¹ El sistema límbico se ha identificado tradicionalmente con un conjunto de estructuras subcorticales (hipotálamo, hipocampo, amígdala) y paleocorticales (corteza cingulada, ínsula) implicadas en la regulación fisiológica, la motivación y la conducta instintiva.

²² Zuckerman, M. (1994). *Behavioral expressions and biosocial bases of sensation seeking*, 7. Cambridge, CUP.

MEDITACIÓN: CUANDO BUDA ENCONTRÓ LA NEUROCIENCIA

*Desconecta tu mente, relájate y déjate llevar río abajo
no es la muerte, no es la muerte
detén tus pensamientos y ríndete al vacío
ya resplandece, ya resplandece
así quizá comprendas que el significado de tu interior
es existir, es existir.*

The Beatles, «Tomorrow never knows»²³

1. ¿Algo más que una moda psicológica?

Desde la publicación en inglés de las primeras obras sobre el budismo a finales del siglo XIX, destacados representantes de los círculos intelectuales y artísticos de Occidente han mostrado su interés y fascinación por esa peculiar forma de espiritualidad tan diferente en apariencia de las religiones monoteístas clásicas. Religión sin Dios, actitud tolerante, pacifismo, comunión con la naturaleza y cultivo de la vida interior conforman una receta de espiritualidad balsámica diametralmente opuesta al rigorismo, la intolerancia y el dogmatismo combativo de las religiones «del Libro». Obras literarias como el *Siddhartha* (1922) de Hermann Hesse o la más tardía *Los vagabundos del Dharma* (1958), de Jack Kerouac, que desarrollan de forma novelada temáticas inspiradas por el budismo, alcanzaron gran éxito entre el público juvenil y contribuyeron a aumentar el interés por la espiritualidad y filosofía orientales, que serían una de las grandes influencias de los movimientos contraculturales de los años sesenta²⁴. La influencia del budismo y la espiritualidad oriental se dejó sentir igualmente en el movimiento *New Age*, versión acomodaticia y abiertamente comercial del movimiento *hippie*

que alcanzó su mayor desarrollo en las décadas de los ochenta y los noventa. Con la entrada del nuevo siglo y la instauración definitiva de la globalización económica y cultural, las inquietudes espirituales de los occidentales se diversificaron en múltiples direcciones, asociadas generalmente a la defensa de los valores ecologistas, la búsqueda de la realización personal y una vaga y genérica reivindicación de «lo natural». El reconocimiento más o menos explícito de las ideas y valores procedentes de las tradiciones filosóficas y espirituales orientales es un elemento común a todos estos movimientos socio-culturales. Y sin duda el producto más exitoso que esas tradiciones nos han aportado han sido las técnicas de meditación, un conjunto de métodos que a partir de la práctica intensiva del control de mente y cuerpo se orientan a promover el bienestar físico y la paz interior. Actualmente, la meditación en sus distintas variantes vive una auténtica edad de oro en Occidente, al menos en cuanto a su popularidad. Y el primer puesto lo ocupa una variante secularizada de la meditación que hace furor por todas partes, el «mindfulness».

El término «mindfulness», que puede traducirse como «consciencia plena» o «atención plena», se refiere a un estado mental contemplativo al que se accede a partir de la práctica de ciertas formas de meditación²⁵. Las técnicas de meditación actualmente en boga en Occidente son una versión secularizada de las prácticas que forman parte del entrenamiento y práctica cotidiana de monjes y seguidores de la religión budista. En el estado de conciencia o atención plena la mente se contempla a sí misma dejando fluir ideas, pensamientos y sensaciones con una actitud no evaluativa, algo que, si se entrena adecuadamente, parece tener efectos beneficiosos sobre la salud física y mental. O al menos esto es lo que aseguran los promotores de lo que hasta ahora es el principal y exitoso producto psicológico de moda del siglo XXI.

Durante las dos últimas décadas, psicólogos y psicoterapeutas se han interesado por los posibles beneficios de la meditación para el bienestar psicológico y el desarrollo personal. Desprovistas frecuentemente de sus connotaciones religiosas, aunque conservando un indudable aire espiritualista, las técnicas de meditación han alcanzado también una sorprendente popularidad entre el público general hasta el punto de que la asistencia a cursos de yoga y meditación se ha convertido para muchos habitantes del

primer mundo en parte esencial de la fórmula para la autorrealización y en algo tan cotidiano como salir a correr o ir al gimnasio. En el terreno de las aplicaciones clínicas, las técnicas de mindfulness han alcanzado gran popularidad como herramienta terapéutica para el tratamiento de trastornos psicológicos como el estrés y la depresión, generalmente en combinación con procedimientos más convencionales como la terapia cognitivo-conductual. Buena muestra del crecimiento exponencial del interés por los posibles efectos psicológicos de la meditación es el incremento del número de artículos sobre mindfulness aparecidos en revistas especializadas, que pasó de menos de cincuenta en el año 2000 a cerca de mil en 2014. Sin embargo, la popularidad del mindfulness ha desbordado el ámbito profesional y psicoterapéutico para hacerse omnipresente en casi todos los entornos imaginables, desde la educación a la empresa privada, la formación deportiva o el entrenamiento militar.

Después de la inteligencia emocional y la psicología positiva, el mindfulness es la gran moda psicológica del nuevo siglo. Por una parte, psicólogos e investigadores de brillante trayectoria, como Richard Davidson o Jon Kabat-Zinn, se han convertido en fervientes adalides del nuevo enfoque psicológico y han llevado la meditación en paralelo a los laboratorios y a los medios de comunicación de masas. Incluso un líder religioso tan carismático como el dalái lama fue invitado, no sin la oposición de algunos académicos, a intervenir en la reunión de la Sociedad Norteamericana de Neurociencia en el año 2005 explicando su concepción budista de la mente. Al mismo tiempo, cursos de formación, libros de autoayuda, artículos de prensa y programas de televisión pregonan con escaso rigor la eficacia de la meditación no sólo para tratar trastornos psicológicos sino también para convertirnos en seres humanos más completos, bondadosos y conscientes de sí mismos y, argumento definitivo, para transformar nuestro cerebro. Más que una herramienta psicoterapéutica o una ayuda para fomentar el bienestar psicológico, el mindfulness ha terminado convirtiéndose no sólo en un movimiento con defensores y adeptos incondicionales, sino también en algunos casos en un negocio muy rentable. Pero ¿sabemos realmente lo que es el mindfulness, cómo funciona y cuáles son sus efectos?, ¿produce cambios psicológicos tan espectaculares como afirman sus proponentes?, ¿puede contribuir la ciencia

del cerebro a darnos una visión más realista de los mecanismos mentales de la meditación?

2. Psicología de la meditación

Aunque el aura espiritualista que las rodea haga pensar lo contrario, las técnicas de meditación se basan en el uso y desarrollo controlado de facultades psicológicas normales. En este sentido, la meditación no se diferencia mucho de procedimientos psicoterapéuticos más tradicionales, como el entrenamiento en relajación o las técnicas de control del pensamiento, empleadas con éxito desde hace décadas en psicología clínica. Es importante resaltar este punto porque parte del atractivo del mindfulness y de otras terapias mentales alternativas reside en la promesa más o menos explícita de producir cambios casi milagrosos mediante la liberación de capacidades y energías mentales no especificadas.

Uno de los problemas que presenta la evaluación de los supuestos beneficios psicológicos de la práctica de técnicas como el mindfulness es la nebulosa conceptual que las rodea. Una rápida ojeada a la terminología empleada en algunas obras populares sobre el tema da una impresión bastante decepcionante de escaso rigor teórico y abundante verborrea, mezcla de conceptos psicológicos pobremente definidos y vagas referencias espiritualistas. No es raro que incluso los estudios aparentemente más serios sobre mindfulness y meditación hayan sido objeto de crítica y que su valor científico haya sido cuestionado por algunos investigadores que incluso han apuntado posibles efectos indeseados de estas técnicas.

Dos de las principales técnicas de meditación son la focalización atencional y la monitorización no intrusiva de los propios pensamientos. En ambos casos, un componente principal es el entrenamiento del control voluntario de la atención. Por ejemplo, en la focalización atencional se trata de aprender a mantener de modo sostenido la atención en un «objeto» interno (por ejemplo, el ritmo respiratorio) o externo (un punto en el espacio), evitando la interferencia de otros estímulos. En la monitorización no intrusiva, de la que el mindfulness es un claro ejemplo, se trata de desarrollar la

capacidad para contemplar de forma distanciada y no evaluativa las sensaciones, ideas y pensamientos que van surgiendo en la mente de forma espontánea. Para ello, el aprendiz debe ser capaz de mantener su atención en el flujo de sus propios procesos mentales, incluidas sus sensaciones corporales, cambios afectivos o imágenes mentales, al tiempo que rechaza posibles actitudes o juicios sobre los mismos. El objetivo es lograr un estado contemplativo en el que el sujeto se convierte en observador desapasionado del devenir de su actividad mental. El aprendizaje de esta técnica requiere un entrenamiento inicial en focalización atencional con el fin de aprender a evitar distracciones y lograr un estado básico de calma mental. A partir de ahí, el siguiente objetivo es desarrollar la capacidad autocontemplativa con el fin de lograr el estado de «desenganche» atencional en el que la mente ya no se detiene en ningún objeto concreto. Ningún aspecto de la experiencia escapa a la consciencia, ninguno logra atraparla. Tal como lo define Kabat-Zinn, el estado de mindfulness consiste en «la consciencia que emerge mediante la atención deliberada, no evaluativa y en el momento presente, al continuo discurrir de la experiencia subjetiva»²⁶.

Los psicólogos cognitivos utilizan el término de «capacidades ejecutivas» o «control ejecutivo» para referirse al conjunto de procesos que nos permiten manipular de forma voluntaria y controlada capacidades mentales como la atención o la memoria. Intentar mantener la atención centrada en una tarea evitando distracciones externas, cambiar el foco de la atención de uno a otro aspecto de nuestro entorno u orientar el curso de nuestros pensamientos en una dirección determinada, son ejemplos de control ejecutivo. Basadas en un complejo sistema de redes neuronales que se extienden por las cortezas frontal y parietal, las capacidades de control cognitivo están en la base del comportamiento flexible e inteligente de los seres humanos y son, probablemente, uno de los principales pilares de la salud mental. De acuerdo con esta hipótesis, hoy sabemos que una característica central de numerosos trastornos psicológicos como la depresión, las adicciones, la esquizofrenia o el trastorno de déficit atencional, conllevan un funcionamiento defectuoso de estas capacidades ejecutivas y están asociados a alteraciones en los sistemas cerebrales correspondientes. Las técnicas de meditación pueden considerarse como una forma especial de entrenar algunas de esas capacidades y por ello

podrían constituir un útil complemento para el tratamiento de esos trastornos.

3. La meditación y el control de la atención

La meditación como destreza

Un objetivo esencial del entrenamiento en meditación es lograr que su práctica se convierta finalmente en un automatismo que permita al sujeto alcanzar fácilmente y sin esfuerzo aparente el deseado estado contemplativo y de paz interior. En realidad, el aprendizaje de la meditación no se diferencia mucho de la adquisición de otro tipo de destrezas basadas en la repetición y la práctica extendida durante largos periodos de tiempo. Del mismo modo que los atletas de élite o los bailarines de danza clásica adquieren la capacidad de realizar verdaderas proezas con su cuerpo a través de un duro y constante entrenamiento, los monjes budistas acumulan a lo largo de su vida miles y miles de horas de práctica meditativa que les dotan de una asombrosa destreza para entrar con facilidad en un profundo estado contemplativo.

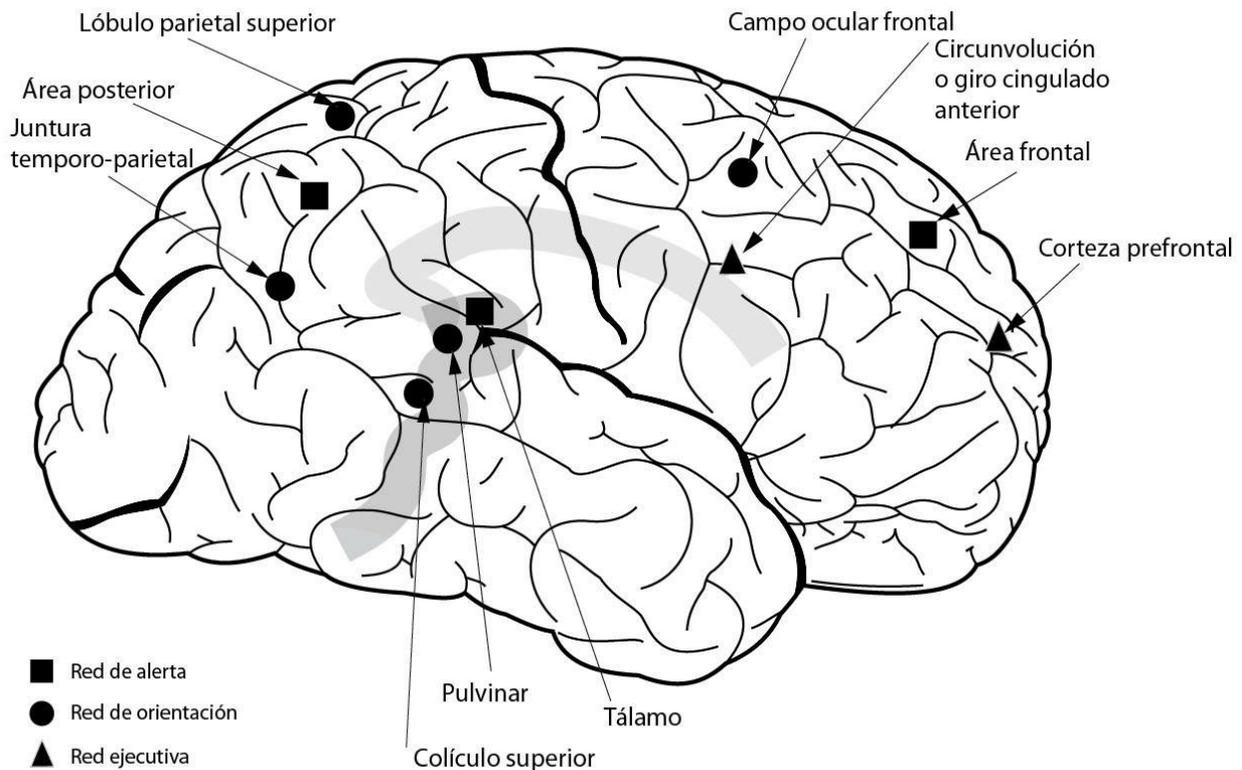
El aprendizaje de destrezas motoras como conducir un automóvil, jugar al tenis o tocar el piano pasa por una serie de estadios sucesivos, cada uno de los cuales tiene características propias. Máximo esfuerzo, concentración total en la tarea y planificación deliberada de cada paso son características de las primeras fases del aprendizaje. Sin embargo, poco a poco se va avanzando hacia un estado final en el que la destreza se ejecuta sin esfuerzo aparente, con un alto grado de precisión y sin necesidad de pensar a cada momento qué movimiento realizar a continuación. Este estadio de automatización es el objetivo último del entrenamiento en cualquier tipo de destreza. Lo que vale para las destrezas motoras puede aplicarse igualmente a habilidades cognitivas como el cálculo, la programación informática o el aprendizaje de una nueva lengua... y parece que también a la práctica de la meditación. Por eso, algunos especialistas mantienen que la meditación transforma a quien la practica de forma continuada, fomentando el surgimiento de nuevos «rasgos» y capacidades, similares a los rasgos estables de carácter que configuran

nuestras distintas personalidades. Esta idea ha sido desarrollada por Davidson en un libro publicado junto a Daniel Goleman con el nada modesto título «Rasgos alterados: la ciencia revela cómo la meditación cambia la mente, el cuerpo y el cerebro»²⁷. Sin necesidad de llegar tan lejos sí puede decirse que hay algunas pruebas de que el entrenamiento en meditación va acompañado de cambios en el modo y eficacia con que el sujeto emplea sus recursos mentales, especialmente la atención.

Entrenando la atención

Una influyente teoría desarrollada inicialmente por el psicólogo Michael Posner divide la atención en tres procesos independientes pero complementarios: uno responsable de establecer y mantener un estado mental de alerta, otro encargado de orientar la atención hacia los aspectos más relevantes del entorno (o de uno mismo) y finalmente un conjunto de procesos ejecutivos encargados del control y manejo de los recursos atencionales (éste es el componente atencional de las facultades de control ejecutivo). Estas tres funciones se corresponden con la actividad de sendos sistemas cerebrales, denominados red de alerta, red de orientación y red de control ejecutivo, caracterizados a su vez por una diferente rúbrica neuroquímica identificada con los neurotransmisores, acetilcolina, noradrenalina y dopamina, respectivamente. Numerosos estudios han establecido la relación entre el rendimiento en pruebas de atención destinadas específicamente a evaluar cada uno de sus componentes y la actividad de las redes cerebrales correspondientes. Por ejemplo, áreas de la corteza parietal superior, que forma parte de la red de orientación, entran en acción cuando al sujeto se le presenta una señal que le indica la localización donde va a aparecer un estímulo importante para la tarea que está realizando en ese momento. En cambio, en situaciones que implican un especial esfuerzo mental debido a la presencia de información conflictiva se observa una mayor activación en una región frontal de la línea media del cerebro denominada corteza cingulada y que forma parte de la red de control atencional.

FIGURA 1
Redes cerebrales de la atención



La práctica de la meditación, especialmente en su variante de atención focalizada, puede considerarse como un método para el entrenamiento de las funciones dependientes de las redes cerebrales de la atención. Si la meditación es eficaz como método de entrenamiento atencional, debería ser posible demostrar sus efectos tanto a nivel conductual (mejor rendimiento en tests atencionales) como cerebral (modificación de la actividad en las correspondientes redes neuronales). Algunos estudios han demostrado que el rendimiento en pruebas de atención que dependen de la capacidad de control ejecutivo mejora después del entrenamiento en atención focalizada en comparación con condiciones de control como la práctica de ejercicios de relajación, aunque también se han demostrado efectos significativos sobre las funciones de alerta y orientación. Una variable crucial que determina la eficacia de la meditación es la duración del entrenamiento. Aunque periodos de entrenamiento tan cortos como una semana pueden facilitar de manera transitoria algunas funciones atencionales, generalmente se requiere un

entrenamiento prolongado (meses o años) para obtener efectos más fiables.

¿Es la meditación un método privilegiado para entrenar la atención? Quizá sea demasiado pronto para contestar a esta pregunta. Para ello sería preciso disponer de un volumen suficiente de datos derivados de la comparación de la meditación con otros métodos más convencionales de entrenamiento atencional. Lo que sí está claro es que para mejorar la atención no es necesario entrar en un estado mental tan atípico como el creado por las prácticas meditativas. Otros métodos que requieren la práctica en tareas desarrolladas por los psicólogos cognitivos son igualmente efectivos para mejorar las capacidades atencionales o incluso acelerar su desarrollo en la edad infantil. No obstante, la meditación quizá tenga la ventaja de que el envoltorio de optimismo y espiritualidad en que normalmente se presenta la hace más atractiva y motivadora que otras técnicas de entrenamiento, facilitando la adherencia al tratamiento y aumentando así su eficacia. Pero ni siquiera en esto la meditación es especial. La práctica intensiva en dominios intrínsecamente motivadores que fomentan la práctica continuada como los videojuegos, el entrenamiento musical o la preparación atlética, se ha demostrado también eficaz para el desarrollo de diversas capacidades de atención y razonamiento. Según esto, la meditación puede ser buena para la mente, pero ni más ni menos que otras prácticas menos exóticas que están fácilmente a nuestro alcance y que pueden resultar tanto o más placenteras.

Apreniendo a meditar

Una característica del progreso en la adquisición de nuevas destrezas es la reducción de la actividad de los sistemas cerebrales implicados a medida que la destreza se perfecciona. Esta aparente paradoja es fácil de comprender. El progresivo descenso de la actividad en algunas regiones cerebrales cuando una tarea se ejecuta repetidamente es un hecho bien conocido que se ha observado en innumerables ocasiones y bajo muy distintas circunstancias. Por ejemplo, la actividad neuronal evocada en la corteza visual al ver la fotografía de una cara se reduce cuando esa misma cara es vista de nuevo después de unos instantes. Este efecto de adaptación a los estímulos familiares indica que

la experiencia previa reduce el «esfuerzo» neuronal requerido para procesar el estímulo. De modo similar, la adquisición de una nueva destreza conlleva una mejora progresiva en la utilización de los recursos cognitivos necesarios para su ejecución y, consecuentemente, un «ahorro» en el trabajo requerido por parte del cerebro. Algunas pruebas indican que el nivel de actividad de las redes neuronales implicadas en la atención está también relacionado con el grado de experiencia en meditación y que esa actividad es más reducida en los meditadores más experimentados. En un interesante estudio se comparó el nivel de activación cerebral entre meditadores novatos y expertos durante la práctica de la atención focalizada. Por una parte, los meditadores expertos mostraron mayor activación que los novatos en redes cerebrales implicadas en la atención sostenida. Sin embargo, al comparar entre sí a meditadores experimentados con distintos grados de formación, se observó que aquellos que tenían un promedio de 44.000 horas de práctica previa mostraban menor activación que los que «sólo» habían acumulado un promedio de 19.000 horas. Esta función de U invertida que relaciona el nivel de experiencia con la actividad cerebral (mayor activación hacia la mitad del proceso de aprendizaje que en sus fases iniciales y finales) se ha observado también en el caso de otras destrezas más mundanas y probablemente refleja los aspectos comunes a la adquisición de diferentes tipos de habilidades cuyo perfeccionamiento requiere una práctica intensa y continuada.

4. Aprendiendo a controlar las emociones

Las emociones son consustanciales a la experiencia humana. Los mejores momentos de la vida se corresponden siempre con experiencias intensamente emocionales. Los peores también. Por eso, en muchas ocasiones nos gustaría ser capaces de controlar debidamente nuestras emociones, incluso no sentir las en absoluto. Pero ¿acaso podemos hacerlo? La capacidad más o menos limitada de controlar nuestras emociones es lo que los psicólogos llaman regulación emocional, un tema que también se ha puesto de moda en los últimos años entre investigadores y especialistas en salud mental. En realidad, el concepto no es nuevo. Religiones y tradiciones filosóficas de todas las

épocas han alertado de los peligros de las pasiones humanas, proponiendo al tiempo modelos de vida virtuosa y desapasionada. El control de pasiones y emociones con el fin de liberar a la razón de su influencia perturbadora está en la base del estoicismo, escuela filosófica que influyó notablemente en la configuración de la ética del cristianismo. Y la liberación de la supuesta esclavitud de las pasiones es también un elemento central de la religión budista, que propone precisamente con ese fin la práctica de la meditación.

La capacidad de regulación emocional comprende una serie de estrategias mediante las cuales podemos influir voluntariamente sobre la experiencia subjetiva y la manifestación externa de las emociones. Valiéndonos de esas estrategias podemos reducir el impacto de las emociones sobre procesos cognitivos como el razonamiento o la atención (conseguir que la inquietud por un problema de pareja nos impida concentrarnos en nuestro trabajo), reducir la activación fisiológica que las acompaña (respirar profunda y lentamente para calmar la agitación típica de ansiedad), evitar su manifestación externa (tratar de esconder con una sonrisa la decepción que nos produce un regalo poco acertado) o cambiar a un estado emocional más deseable (pasar de la ira a la esperanza convenciéndonos de que la rescisión de un contrato laboral nos permite aspirar a un trabajo mejor remunerado y más acorde con nuestra formación).

Junto al entrenamiento del control de la atención, el segundo objetivo de las técnicas de meditación es el perfeccionamiento de la regulación emocional. Reducir el impacto de sucesos vitales negativos o de los pequeños contratiempos cotidianos, facilitar una más rápida recuperación de episodios dolorosos como la pérdida de un ser querido o fomentar los estados de ánimo positivos son objetivos tanto de los aparentemente novedosos enfoques basados en la meditación como de las terapias psicológicas más convencionales. En efecto, un objetivo explícito de los tratamientos basados en el enfoque cognitivo/conductual es el entrenamiento de habilidades regulatorias que permitan al paciente un manejo más eficaz de sus emociones. Esto es así porque la deficiente capacidad de regulación emocional es una característica esencial de diversos trastornos psicológicos como el estrés crónico, los trastornos de ansiedad o la depresión. Las técnicas de meditación, especialmente las orientadas al mindfulness, se han demostrado

razonablemente eficaces para mejorar distintos indicadores objetivos de regulación emocional en situaciones de laboratorio. La meditación, por ejemplo, reduce la reactividad emocional a estímulos desagradables, así como su capacidad distractora. Del mismo modo, la meditación reduce el tiempo de recuperación tras la exposición a una situación estresante. A un nivel más global, el entrenamiento en mindfulness parece tener un efecto beneficioso sobre el estado de ánimo, aumentando la frecuencia de los estados de ánimo positivos y reduciendo la de los negativos.

El auge actual de las técnicas de meditación y su incorporación al arsenal de herramientas terapéuticas de la psicología clínica se basa en gran parte en la confianza en su eficacia como medio de entrenamiento de la regulación emocional. Al tratar de establecer hábitos orientados a la contemplación desapasionada de pensamientos y sentimientos, las técnicas de mindfulness podrían facilitar la adquisición de esos hábitos. Aprender a generar un estado interior de autocontemplación no intrusiva podría permitir a los pacientes depresivos cambiar flexiblemente el foco de la atención y no dejarse atrapar por los pensamientos negativos hacia sí mismos y hacia su futuro. Y quizá la meditación pueda ser también beneficiosa para cualquiera que desee tener una relación más saludable y productiva con sus propias emociones.

Aunque promover la adquisición de métodos más eficaces de regulación emocional sea un objetivo común de las terapias basadas en la meditación y de las terapias cognitivas, el modo de lograrlo no es exactamente el mismo. Mientras que en la terapia cognitiva se intenta que el paciente caiga en la cuenta de que algunas de sus interpretaciones de la realidad son erróneas y aprenda a corregirlas, en la meditación orientada al mindfulness se fomenta una actitud contemplativa y no evaluativa incluso hacia esas interpretaciones. Puede decirse que mientras que la terapia cognitiva intenta modificar el contenido de las evaluaciones, sensaciones y pensamientos del paciente, las técnicas de mindfulness tratan de cambiar el modo en que éste se relaciona con ellos. Como beneficio adicional, se supone que el entrenamiento en mindfulness proporciona finalmente la emergencia de nuevas cualidades emocionales y afectivas, una nueva actitud caracterizada por una mayor flexibilidad y apertura mental.

5. La meditación en la consulta del psicólogo

Pero... ¿funciona?

Las técnicas de meditación orientadas al mindfulness se han convertido en una herramienta terapéutica enormemente popular. El primero en aplicar formalmente este enfoque a la psicología clínica fue Jon Kabat-Zinn con su programa de reducción del estrés basado en las técnicas de mindfulness, generalmente conocido por sus siglas en inglés MBSR (*mindfulness-based stress reduction*). En combinación con elementos de la terapia cognitivo-conductual, las técnicas de mindfulness también se han aplicado al tratamiento de la depresión, además de a problemas tan diversos como las adicciones, la obesidad, el trastorno de déficit atencional e hiperactividad, las enfermedades de la piel, el dolor crónico o los trastornos de ansiedad. El nivel de difusión de estas técnicas, la variedad de los campos de aplicación y el interés despertado entre los profesionales han sido tales que se diría que nos encontramos ante una verdadera revolución psicoterapéutica. Pero ¿está verdaderamente justificado el entusiasmo?, ¿se corresponden el esfuerzo y los medios humanos y económicos invertidos por investigadores, profesionales y agencias oficiales de financiación en el estudio del mindfulness con sus beneficios reales?

Si más allá de la moda del momento las técnicas de meditación van a incorporarse de forma duradera a la práctica clínica, deberían primero demostrar su eficacia terapéutica. Actualmente abundan en farmacias, herbolarios y mercadillos populares innumerables productos amparados bajo la seductora etiqueta de «producto natural», anunciados como remedios para tratar todo tipo de dolencias, desde «los nervios» hasta la hipertensión, las alergias o el insomnio. Paralelamente a esta moda de la llamada «parafarmacia», terapias pretendidamente alternativas y sin ninguna base científica, como la homeopatía o el reiki, atraen a miles de clientes en busca de los resultados que no han encontrado (o ni siquiera buscado) en la medicina o la psicología científicas. Sin embargo, ninguna de las numerosas terapias alternativas que se nos proponen a diario y que atraen cada vez mayor clientela ha pasado el test exigido a los fármacos y tratamientos médicos más

habituales antes de ser comercializados e incorporarse a la práctica terapéutica diaria: demostrar convincentemente su eficacia.

El principal problema que conlleva demostrar la eficacia de un nuevo tratamiento es que requiere una considerable inversión de esfuerzo y dinero. No menos problemática es la posibilidad de que una vez puesto a prueba el tratamiento resulte ser totalmente inútil, sobre todo cuando antes se han hecho promesas sin fin sobre sus poderes curativos. La regla de oro de los así llamados ensayos clínicos es la prueba de control aleatorizado. Esta prueba requiere al menos la comparación entre dos diferentes condiciones a las que los participantes son asignados de forma aleatoria. En la condición de referencia, los pacientes reciben el tratamiento cuya eficacia se desea comprobar. En una segunda condición, los pacientes que no reciben el tratamiento pueden, por ejemplo, estar apuntados en una lista de espera para recibirlo o ser expuestos a una experiencia similar pero que no incluye los componentes esenciales del tratamiento. Una de las funciones de esta condición es la de actuar como control para los posibles efectos placebo del tratamiento a estudio. Por ejemplo, el mero hecho de ser recibido por el médico o el psicoterapeuta o incluso el estar apuntado en una lista de espera puede aumentar en el paciente las expectativas de curación y producirle una falsa sensación de mejoría. Para que el tratamiento sea considerado eficaz debe demostrarse que sus resultados son al menos superiores a los de esta condición de control.

Una exigencia mayor a la hora de determinar la eficacia terapéutica es la de los estudios cuyo diseño incluye además una condición de control activo en la que los pacientes asignados reciben algún tratamiento ya conocido, diferente al de la condición de referencia. En este caso, el tratamiento a prueba debe demostrar además que es, al menos, tan eficaz, si no mejor, que el tratamiento de control ya conocido. Además de someter a prueba la eficacia del nuevo tratamiento, este tipo de estudios van orientados a averiguar cuál es su «principio activo», es decir, el elemento específico que hace que el tratamiento funcione. Idealmente, un nuevo tratamiento debe demostrar que es eficaz y además que esa eficacia se basa en mecanismos diferentes a los de los tratamientos ya conocidos o al menos en un mejor aprovechamiento de los mismos.

Los estudios sobre la eficacia terapéutica de la meditación realizados en los últimos años se han centrado principalmente en las técnicas orientadas al mindfulness. De los numerosos estudios publicados hasta el año 2015, la mayor parte (45%) fueron estudios exploratorios destinados a probar nuevas aplicaciones del tratamiento. El porcentaje de estudios con control aleatorizado y orientados a probar la eficacia clínica mediante la comparación con un grupo de control fue notablemente inferior, con sólo un 9% de estudios incluyendo la condición más exigente de un control activo en el que los pacientes que no recibían el tratamiento de mindfulness eran tratados mediante otra técnica terapéutica. En general, los trabajos de revisión y meta-análisis realizados a partir de los resultados de los estudios de eficacia terapéutica revelan un nivel variable de éxito de las técnicas de mindfulness para el tratamiento de distintos trastornos. Por ejemplo, aunque prestigiosas instituciones médicas como la APA (American Psychiatric Association) recomiendan oficialmente el mindfulness como medio para evitar las recaídas en pacientes depresivos, su eficacia real para este fin parece ser limitada.

Un estudio de revisión publicado en 2014 y comisionado por una importante agencia oficial de salud estadounidense evaluó los resultados de 47 ensayos clínicos previos con una muestra total de 3.515 participantes. Tras un cuidadoso análisis de los resultados previamente publicados, los autores de este estudio concluyeron que la eficacia de la terapia basada en mindfulness era «moderada» para el tratamiento de los síntomas de la ansiedad, la depresión y el dolor crónico y baja para reducir el estrés y mejorar la calidad de vida. En un tono más pesimista, los autores concluyeron también que las pruebas de la eficacia del mindfulness para mejorar la atención, fomentar un estado de ánimo positivo o controlar la drogadicción o los trastornos alimentarios era inexistente o insuficiente. Última e importante conclusión: no se obtuvo evidencia alguna de que el mindfulness fuese mejor que ningún tratamiento de control, incluida la farmacoterapia, el ejercicio y otras formas de terapia psicológica.

Medita con tu `smartphone`

Como era de esperar dada su popularidad, la meditación también ha irrumpido en el campo de las nuevas tecnologías. La comercialización de aplicaciones de mindfulness para teléfonos móviles es uno de los nuevos negocios digitales que han proliferado al amparo de la moda meditativa. Meditar ya no requiere acudir a la escuela de yoga o a la consulta del psicólogo. Basta disponer de un móvil de última generación y abonarse a uno de los múltiples servicios que ofrecen «una buena dosis de atención plena siempre disponible desde tu *smartphone*» o la enseñanza en unos pocos minutos al día de «habilidades de meditación y consciencia plena que cambiarán tu vida». El rango de objetivos es amplio también en esta reencarnación tecnológica del mindfulness, con aplicaciones orientadas a fomentar la compasión, reducir el estrés laboral o simplemente fomentar el bienestar personal, algunas de las cuales ya han sido sometidas a pruebas de eficacia terapéutica con resultados no muy diferentes a los del tratamiento presencial.

Curiosamente, algunos investigadores consideran que los resultados de los estudios sobre el mindfulness digital pueden resultar más fiables debido a la mayor estandarización del «tratamiento» que reciben todos los usuarios de una determinada aplicación y al registro más objetivo de su conducta a través del móvil o el ordenador. Sin embargo, algunas de estas nuevas aplicaciones pueden ser completamente inútiles, como revela un reciente estudio sobre los posibles efectos del mindfulness en el desarrollo del así llamado «pensamiento crítico», es decir, la capacidad para abordar problemas complejos de una forma desprejuiciada y libre de nuestras creencias y experiencias previas. En este estudio, una muestra de estudiantes universitarios se distribuyó aleatoriamente en dos diferentes condiciones. En la condición de referencia, los sujetos practicaban el mindfulness guiados por una popular aplicación *online* (*Headspace*) durante seis semanas. En la condición de control, los sujetos simplemente realizaban ejercicios de respiración con los ojos cerrados, creyendo que realmente estaban meditando. Los resultados al final del estudio mostraron un significativo incremento de las habilidades de pensamiento crítico que, ¡sorpresa!, fue exactamente igual en ambos grupos. Obviamente, este incremento no se debió a la práctica de la meditación sino a los elementos comunes a ambas condiciones, de los que la simple creencia en la eficacia del entrenamiento meditativo, real o fingido,

probablemente no fue el menos importante.

¿Terapia para todo?

Por desgracia, sólo una pequeña parte de la información científica que podría resultar de interés para el público general llega finalmente al que debiera ser su principal destinatario. Aunque algunos medios se han hecho eco de las dudas sobre la eficacia terapéutica de la meditación, por lo general se ha dado mucha mayor cobertura a las opiniones más entusiastas y optimistas. Esto es lo que explica en parte que, entre el público general e incluso en medios profesionales especializados, exista una confianza excesiva en la eficacia de la meditación como herramienta terapéutica de amplio espectro. La propia diversidad de problemas y condiciones en las que el mindfulness y otras formas de meditación parecen ser tan beneficiosas es de por sí llamativa. Los tratamientos médicos típicos se caracterizan precisamente por su especificidad. Trastornos diferentes tienen etiologías diferentes y el tratamiento aplicado en cada uno de ellos va dirigido específicamente a combatir un conjunto particular de factores causales. No existen tratamientos panacea que sirvan tanto para frenar la reproducción de células tumorales como para estabilizar la producción de jugos gástricos o atajar las infecciones por retrovirus. Si las técnicas de meditación son verdaderamente eficaces para tratar el amplio espectro de problemas físicos y psicológicos a los que se han aplicado, es forzoso pensar que lo hacen a través de su influencia sobre algún factor común a todos ellos. Aunque es cierto que en muchos casos se hace un esfuerzo por adaptar la técnica al problema concreto que se pretende tratar, también lo es que los principios en los que se basan las distintas técnicas son muy similares. En definitiva, la psicoterapia basada en la meditación podría considerarse como un enfoque terapéutico inespecífico que debe su posible eficacia al hecho de que hay factores psicológicos de carácter cognitivo y afectivo que son comunes a una gran diversidad de trastornos. Entre esos factores se encuentran el estrés crónico con su costoso peaje de tensión física y malestar psicológico, la deficiente regulación emocional y los fallos en la capacidad de control ejecutivo. Reconocer este extremo podría contribuir a

dar una visión de las técnicas de meditación más realista y acorde con la ciencia psicológica. Ya sea como herramienta terapéutica o como actividad complementaria para una vida más armónica y apacible, conocer los fundamentos psicológicos de la meditación no puede más que contribuir a mejorar su eficacia y aumentar la confianza de sus posibles usuarios.

6. ¿La meditación cambia el cerebro?

Los promotores de la meditación aseguran a menudo que sus técnicas cambian el cerebro, lo que debería convencernos definitivamente de sus bondades. Sin duda, la meditación altera la actividad cerebral, pero esto no es decir mucho. Cualquier experiencia lo hace, aunque sea de forma transitoria. Y si la experiencia tiene la forma de entrenamiento regular y prolongado en alguna destreza específica, esas alteraciones pueden convertirse en duraderas o incluso modificar de forma permanente algunos aspectos del funcionamiento y la estructura cerebrales. Por tanto, nada hay de especial en el hecho de que la meditación pueda modificar el funcionamiento del cerebro. Por fuerza ha de hacerlo, especialmente si se practica de forma intensa y continuada. Gracias a la plasticidad neuronal, es decir, la capacidad de las neuronas para alterar su funcionamiento y estructura en función de la práctica y el entrenamiento, el cerebro está en continuo proceso de modificación y ajuste a las continuas modificaciones que se suceden en nuestro entorno. Toda forma de aprendizaje que tenga efectos mínimamente duraderos modifica de alguna forma el cerebro y cuanto mayor sea la complejidad y variedad de los procesos implicados mayor será el número de redes neuronales modificadas. Pero ¿afecta la meditación al cerebro de alguna forma especial y diferente a como lo hacen otras actividades? Y si lo hace, ¿hasta qué punto es ese cambio duradero? ¿Puede la meditación modificar no sólo el funcionamiento del cerebro sino incluso su propia estructura? Actualmente disponemos ya de pruebas que, aunque no concluyentes, sí indican posibles efectos de la meditación sobre las propiedades funcionales y estructurales del cerebro.

El cerebro en meditación

Si se da un repaso a los temas que los neurocientíficos abordan en sus estudios más recientes da la impresión de que no hay aspecto de la vida mental, por complejo que parezca, que escape a su curiosidad. ¿Puede también la neurociencia ayudarnos a explicar de una forma objetiva los múltiples beneficios sobre el bienestar físico y mental que se le atribuyen a la meditación? ¿Qué ocurre en el cerebro de un practicante experto cuando entra en esos peculiares estados de intensa concentración mental? Por supuesto, la neurociencia ha intentado responder también a estas preguntas y en lo que va de siglo son muchos los estudios publicados que muestran significativos cambios funcionales y estructurales en el cerebro, especialmente en personas con una prolongada experiencia en la práctica de la meditación.

Los estudios de neuroimagen funcional nos permiten observar los patrones de activación cerebral asociados a la ejecución de distintos tipos de tareas o a la experiencia de diferentes estados mentales. En el caso de la meditación, este tipo de estudios puede proporcionar datos esenciales para comprender los mecanismos mentales de la meditación y para comprobar si, tal como se dice, su práctica es un método efectivo de entrenamiento cerebral. Por ejemplo, si la meditación requiere el despliegue de las capacidades de control atencional con el fin de evitar distracciones, es de esperar que durante su práctica entren en acción los sistemas cerebrales implicados en esa función. Es más, si la meditación es un método efectivo de entrenamiento atencional con efectos a largo plazo, deberíamos observar cambios duraderos en el funcionamiento de esos sistemas. Y si el aprendizaje de la meditación sigue reglas similares a las de la adquisición de otros tipos de destrezas, sería de esperar que también diese origen a alteraciones duraderas en la estructura de las redes neuronales correspondientes.

Las regiones cerebrales que aparecen activas de forma más consistente en los estudios de neuroimagen funcional son las implicadas en tres de las funciones que son objetivo principal de la meditación: el control atencional, la regulación emocional y la autoconciencia. La corteza cingulada anterior, que como ya se ha dicho forma parte de la red de control atencional del cerebro, es una de las regiones cerebrales activas durante la práctica de la meditación

basada en la atención focalizada, aunque su actividad también se intensifica durante la meditación orientada al mindfulness. Otras regiones de la corteza cerebral, como las áreas frontales y parietales asociadas a distintas funciones atencionales, incrementan también su actividad en estados meditativos.

Uno de los beneficios más citados de la meditación orientada al mindfulness, con importantes implicaciones clínicas, es la mejora de las capacidades de regulación emocional. Estas capacidades dependen en parte del efecto modulador que redes neuronales localizadas en la corteza prefrontal ejercen sobre sistemas subcorticales más «primitivos» del sistema límbico como la amígdala, especialmente activa en estados de ansiedad. Una de las funciones de la amígdala es precisamente la detección rápida de estímulos amenazantes o indicativos de un peligro próximo y la puesta del organismo en estado de alerta. Quizá la eficacia de la meditación como método de control del estrés y la ansiedad se base en su capacidad para reducir la sensibilidad de la amígdala a las señales de peligro o para fortalecer el control inhibitorio que sobre ella ejercen los sistemas prefrontales. Esto parece ser así al menos en los primeros estadios del entrenamiento en meditación. Por ejemplo, se ha observado que los meditadores novatos tienden a mostrar menor actividad amigdalar y mayor actividad prefrontal cuando se les presentan imágenes de contenido emocional en estado de meditación que en un estado de control. Sin embargo, los meditadores con más de mil horas de práctica muestran un patrón diferente. En vez de una menor actividad amigdalar, los expertos muestran una reducción de la actividad en la zona medial de la corteza prefrontal (la sección de la corteza frontal localizada en la línea media del cerebro). Esta región cerebral forma parte de la llamada red cerebral por defecto, activa en aquellos momentos en que nos abstraemos en nuestros propios pensamientos y reflexionamos sobre nosotros mismos. Estudios sobre los efectos de la meditación en la percepción del dolor muestran también variaciones en los sistemas cerebrales de procesamiento de la información nociceptiva (es decir, las sensaciones físicas causadas por estímulos dolorosos) asociadas a una reducción efectiva de la sensibilidad al dolor.

La reducción de la actividad de la red por defecto en el meditador experto podría indicar que ha aprendido a contemplar el presente, pero sin detenerse a evaluar cómo le afectan los estímulos externos o los cambios que se producen

en su propio interior. En términos de la psicología cognitiva diríamos que se produce una reducción del procesamiento autorreferente, es decir, de la reflexión evaluativa acerca de uno mismo. Esta forma de procesamiento alcanza un grado exagerado en trastornos como la depresión. Precisamente, en estos pacientes se ha observado un funcionamiento anómalo de la red por defecto. Así, en presencia de imágenes con contenido emocional los depresivos tienden a mostrar superior activación en ese sistema cerebral que los sujetos de control. Todo ello parece indicar que las personas deprimidas no son capaces de controlar la actividad de la red por defecto, lo que dificultaría el desenganche de los pensamientos recurrentes y negativos sobre sí mismos.

Es posible que el alivio que algunas personas con depresión encuentran en la práctica de la meditación se deba a que mediante ella adquieren la capacidad de contemplarse a sí mismos con una nueva actitud más distanciada y menos crítica. En los meditadores expertos los cambios funcionales en la red por defecto se mantienen más allá de los momentos de práctica meditativa y pasan a formar parte de su «estilo» de funcionamiento cerebral. Esta capacidad contrasta con la dificultad que las personas con depresión parecen experimentar para controlar la actividad de esa red. Según esto, la práctica de la meditación podría ser un buen método de entrenamiento cerebral que ayudase a las personas con depresión a regular la actividad de la red por defecto, reduciendo así la excesiva fijación en sí mismas y en sus pensamientos más negativos.

La respuesta cerebral de los meditadores novatos cuando se les presentan estímulos emocionales hace pensar que el sujeto está realizando un esfuerzo deliberado por minimizar su impacto afectivo mediante la puesta en marcha de sus facultades de control cognitivo y emocional. Los patrones de activación/desactivación que muestran los meditadores expertos en respuesta a la estimulación emocional o al dolor físico dan a entender que llegan al mismo objetivo a través de un camino diferente. Los expertos no parecen necesitar reducir la sensibilidad de los sistemas de procesamiento emocional, como la amígdala. Se diría, más bien, que a través de la práctica meditativa han conseguido producir una desconexión efectiva entre esos sistemas emocionales y los sistemas evaluativos a través de los cuales analizamos

continuamente los estímulos y sensaciones procedentes del exterior y de nuestro propio organismo, por ejemplo, los comprendidos en la red por defecto. Una observación acorde con esta idea es que los meditadores expertos muestran una reducción de la conectividad entre las redes de control ejecutivo y los sistemas de procesamiento de la información nociceptiva cuando se les presentan estímulos dolorosos en estado de meditación. En pocas palabras, mientras que el meditador novato regula sus emociones a través del esfuerzo y el control deliberado, el experto lo hace a través de la aceptación. Los estudios de neuroimagen empiezan a proporcionarnos una traducción de estos conceptos psicológicos al lenguaje de la actividad cerebral.

¿Puede la meditación alterar la morfología cerebral?

Acabamos de ver que el entrenamiento prolongado en meditación puede dar origen a alteraciones significativas y relativamente duraderas en el funcionamiento cerebral, cambios que se corresponden con mejoras en funciones como el control atencional y la regulación de las emociones. Pero ¿se traduce ese entrenamiento en cambios duraderos en la morfología cerebral igual que ocurre con la práctica de otro tipo de destrezas? Los estudios sobre los posibles efectos de la meditación sobre la morfología cerebral se basan en la utilización de técnicas como la resonancia magnética o la tomografía computerizada (TAC)²⁸, que permiten obtener imágenes de alta resolución de la estructura cerebral. Mediante estas técnicas es posible hacer estimaciones precisas de diversos aspectos de la morfología cerebral, como la forma y el volumen de regiones concretas, la densidad de la sustancia gris o el espesor cortical. De este modo se ha logrado demostrar que el cerebro de meditadores expertos con varias décadas de práctica difiere en varios aspectos significativos del de los controles sin experiencia. Diferencias en distintas variables morfométricas se han observado en regiones tan diversas como el hipocampo, el tronco encefálico, el cerebelo, la corteza insular, diferentes áreas de la corteza frontal y la región de la línea media del cerebro denominada corteza cingulada.

La zona anterior de la corteza cingulada es una de las regiones en las que de forma más consistente se han encontrado alteraciones en meditadores expertos. El dato es significativo, porque esta región cerebral está implicada en numerosas funciones relacionadas con el autocontrol y la regulación emocional, objetivos centrales de la psicoterapia basada en la meditación. Otra región a la que apuntan varios estudios es la corteza insular, una región cerebral localizada al fondo de la cisura de Silvio e implicada en el procesamiento de señales procedentes del interior del organismo, como las asociadas a la respiración, el ritmo cardíaco y las respuestas generadas por otros órganos viscerales. Debido a esta función, la actividad de la corteza insular contribuye a configurar la llamada consciencia interoceptiva, es decir, la sensación del propio cuerpo, que es a su vez un componente esencial de la autoconciencia, otro de los principales objetivos de las técnicas de meditación.

La mayoría de los estudios que demuestran diferencias estructurales entre meditadores y controles tienen un diseño transversal en el que los dos grupos son comparados en un determinado momento temporal. Por ello, estos estudios no permiten concluir si las diferencias observadas se deben realmente a la práctica de la meditación. Dado que no sabemos cómo era el cerebro de los meditadores antes de comenzar su entrenamiento, no hay modo de saber si esas diferencias están realmente relacionadas con la práctica de la meditación. Los diseños transversales no permiten excluir la posibilidad de que los meditadores expertos poseyesen ya desde un principio alguna característica ventajosa en su estructura cerebral. Por ello, los estudios más convincentes son los que adoptan un diseño longitudinal en los que se toman imágenes del cerebro de los participantes antes y después del entrenamiento en meditación.

Utilizando diseños longitudinales, muchos estudios han demostrado que el entrenamiento prolongado en distintas destrezas sensorio-motoras produce cambios estructurales duraderos en el cerebro. Además, estos cambios no son indiscriminados, sino que se localizan precisamente en los sistemas cerebrales implicados en la práctica y perfeccionamiento de cada destreza concreta. Por ejemplo, el entrenamiento en una destreza motora que requiera el uso de una sola mano va asociado a cambios estructurales localizados en la corteza motora del hemisferio contralateral, que es el que controla su movimiento. Por

supuesto, la meditación es una habilidad compleja cuya realización implica a numerosos sistemas cerebrales y por ello es de esperar que su huella cerebral sea mucho más distribuida. En un ejemplo de estudio longitudinal sobre los efectos de la meditación, un grupo de participantes sin experiencia previa recibieron ocho semanas de entrenamiento en mindfulness orientado a la reducción del estrés. Antes y después de la práctica en meditación, se tomaron imágenes cerebrales mediante resonancia magnética. En comparación con los sujetos de una condición de control, los participantes entrenados en meditación mostraron al final del entrenamiento un incremento significativo de la densidad de materia gris en distintas regiones cerebrales relacionadas con la memoria, la regulación emocional y el procesamiento de información referida a uno mismo. Estos cambios muestran una distribución espacial mucho mayor en el cerebro que los inducidos por la práctica de destrezas motoras, lo que sin duda se debe al mayor número de procesos psicológicos que se ponen en marcha durante la meditación. En este sentido es posible que la práctica continuada de la meditación resulte especialmente eficaz para generar alteraciones a gran escala de la estructura cerebral, al menos si se compara con los efectos mucho más localizados debidos a la práctica de destrezas senso-motoras que suelen afectar de forma específica a los sistemas neuronales implicados en su ejecución.

7. La meditación: ¿medicina para el cuerpo?

La moda de la meditación ha irrumpido también en la medicina. Si meditar es bueno para la mente y el cerebro, ¿no debería también serlo para la salud en general? Actualmente, universidades, escuelas de medicina y centros de salud incluyen en su oferta cursos de formación y tratamientos basados en la Meditación. Por ejemplo, en 2016 el 80% de las escuelas oficiales de Medicina de Estados Unidos incluían este tipo de cursos en su oferta de formación. Dada la estrecha relación entre la salud física y el bienestar emocional, no parece aventurado pensar que una intervención que mejora la salud psicológica pueda también favorecer el bienestar físico. La mejor forma de saber si esto es cierto es comprobar los efectos de la meditación sobre

marcadores biológicos asociados a la salud. Dado que muchos trastornos físicos y mentales conllevan una alteración del sistema inmune, los marcadores asociados a su funcionamiento son especialmente relevantes.

Una revisión publicada en el año 2016 analiza los resultados de veinte estudios de control aleatorizado, con una muestra total de 1.600 participantes, acerca de los efectos de la meditación por mindfulness sobre distintos marcadores de la función inmune, como los niveles de proteínas inflamatorias o el conteo de células inmunológicas, como los linfocitos T. Algunos de estos estudios fueron realizados con muestras clínicas de pacientes con distintas patologías, como cáncer o VIH, que recibieron entrenamiento en meditación como complemento a su terapia médica. El análisis de los estudios revisados confirmó efectos significativos de la meditación sobre algunos marcadores de la actividad inmunológica. Concretamente, se observó una reducción significativa de procesos inflamatorios y un incremento de la inmunidad celular (por ejemplo, aumento del número de linfocitos CD4 en personas con VIH). Algunos estudios sugieren también que la meditación podría favorecer ciertos procesos biológicos que protegen contra el envejecimiento celular. Por ejemplo, se ha reportado un incremento de los niveles de telomerasa consecuente a la práctica del mindfulness. La telomerasa es una enzima que tiene un efecto protector sobre los telómeros, una especie de funda protectora situada en los extremos de los cromosomas y cuya longitud se va reduciendo con la edad. Por ello se cree que la longitud de los telómeros es un indicador biológico del envejecimiento. Algunas evidencias indican que aspectos del estilo de vida, como el ejercicio, el apoyo social o la alimentación, afectan a la longitud de los telómeros, protegiendo de algún modo su desgaste y retrasando así los efectos negativos del envejecimiento sobre la salud. Según la evidencia más reciente, la práctica de la meditación podría ser otro de esos factores protectores.

²³ Canción incluida en el disco *Revolver* (1966).

²⁴ Hesse, H. (2004). *Siddhartha*, Barcelona, Edhasa. Kerouac, J. (2000). *Los vagabundos del Dharma*, Barcelona, Anagrama.

²⁵ Literalmente, el término «mindfulness» significa la cualidad personal de ser consciente o prestar especial atención a algo (del mismo modo que «thoughtfulness» es la cualidad de ser reflexivo o sumamente cuidadoso) y como tal no es fácil encontrar un equivalente adecuado en castellano. Por ello, mantendré el término inglés que, además, ya se ha generalizado entre especialistas y público general.

²⁶ Kabat-Zinn, J. (2003), Mindfulness-based interventions in context: past, present, and future. *Clinical Psychology, Science and Practice*, 10, pp. 144-156.

²⁷ Goleman, D. y Davidson R. (2011), *Rasgos alterados*. Barcelona, Ediciones B.

²⁸ La resonancia magnética estructural, a diferencia de la resonancia funcional, proporciona imágenes estáticas de la estructura cerebral. El TAC se basa en principios diferentes, pero sirve para un objetivo similar.

EL CEREBRO QUE APRENDE: EDUCACIÓN, APRENDIZAJE Y DESARROLLO CEREBRAL

Mas el hombre, de por sí manso, a pesar de que si obtiene una correcta educación y una naturaleza afortunada suele llegar a ser el animal más divino y apacible, si no se lo educa suficientemente o no se lo educa bien, es el más salvaje de todos los que engendra la tierra.

Platón. *Leyes*, VI²⁹

1. Neuro... ¿qué?

El espectacular desarrollo de la ciencia del cerebro durante las últimas décadas ha hecho posible abordar desde una nueva perspectiva aspectos de la naturaleza humana que tradicionalmente habían sido patrimonio de disciplinas especializadas y poco permeables a influencias externas. Hasta hace poco, los economistas se encargaban de estudiar economía, los pedagogos de estudiar pedagogía y quizá un poco de psicología, los teóricos del arte de estudiar arte y estética y los filósofos y moralistas de hacer lo propio con sus respectivas materias. Pero este panorama ha cambiado en los últimos años. Economistas, pedagogos, teóricos del arte e incluso algunos filósofos han buscado cobijo bajo el paraguas común de la neurociencia. Donde antes hubo economía pura y dura ahora tenemos «neuroeconomía», donde había pedagogía proliferan los cursos de «neuroeducación», lo que antes era estética se ha convertido en «neuroestética» y en vez de ética o filosofía nos encontramos ahora con híbridos como la «neuroética» o la «neurofilosofía». La ciencia del cerebro parece haber colonizado (casi) todos los saberes. Ante esta proliferación de híbridos muchos se preguntan si no estaremos ante simples operaciones de mercadotecnia que no son más que concesiones a la moda de los tiempos,

cortinas de humo que, en definitiva, no ocultan nada sustancial. Es cierto, por una parte, que los medios de comunicación a veces informan sobre los logros de la ciencia del cerebro de forma simplista o poco rigurosa y que hay avispados comerciantes que ofrecen cursos y remedios casi milagrosos, pero inútiles, con el reclamo de que están basados en los descubrimientos de la neurociencia. Pero no todo es relumbrón y truco publicitario. Es igualmente cierto que los avances de la ciencia del cerebro nos van acercando cada vez más a una explicación de la mente y la conducta humanas como producto de procesos biológicos que pueden estudiarse mediante métodos similares a los empleados por otras ciencias naturales. Y es lógico que la sociedad se pregunte qué es lo que esos avances pueden aportar más allá de las paredes del laboratorio. El problema es que, apremiados por la necesidad de encontrar nuevas soluciones a antiguos problemas, algunos han puesto una confianza excesiva en el poder de la neurociencia para resolverlos.

La posibilidad de explicar la conducta humana en términos de la actividad del cerebro parece atraer por igual a científicos y público no especializado. Algunos psicólogos escépticos sobre el valor de estas explicaciones han hablado en tono un tanto peyorativo del «seductor atractivo» que la neurociencia ejerce sobre especialistas y profanos. De hecho, varios estudios han demostrado que personas con distintos niveles de formación, estudiantes de psicología incluidos, dan más credibilidad a artículos científicos sobre la mente y la conducta cuando incluyen fotografías coloristas del cerebro representando regiones supuestamente activadas durante la realización de alguna tarea. La presencia de imágenes parece ser indispensable, ya que la sola descripción verbal de los datos de actividad cerebral no basta para hacer el artículo suficientemente creíble. La explicación de estos resultados no es fácil y probablemente tiene que ver con diversos factores, entre ellos el mayor prestigio social de ciencias «duras» como la neurología o la neurociencia, el poder de la información visual e incluso las propias limitaciones de nuestra mente para entender adecuadamente las relaciones de causa-efecto. Desde un punto de vista más positivo, es posible que las explicaciones en términos de actividad cerebral resulten más convincentes en parte porque responden a la creencia más o menos explícita de que una observación psicológica ha de corresponderse forzosamente con algún cambio detectable en el cerebro. Y la

visión de un cerebro en supuesta actividad quizá transmita una impresión más realista de esa correspondencia.

La educación es sin duda el campo aplicado en el que con más insistencia se hace referencia a los potenciales beneficios de la neurociencia. La educación es un proceso de aprendizaje y como tal es obvio que sus efectos han de estar mediados por su acción sobre el cerebro. Por ello, no es raro que educadores, pedagogos, autoridades y público en general hayan vuelto sus ojos hacia la neurociencia en busca de posibles respuestas a los dilemas que plantea la educación en las sociedades modernas. Nuevos conceptos como «neuroeducación» o «neurodidáctica» aparecen constantemente en cursillos y ciclos de conferencias, empleados a menudo con menos rigor que afán publicitario y mercantil y defendidos casi siempre por personas sin especialización alguna en neurociencia. Por desgracia, las llamadas a aplicar los descubrimientos de la neurociencia a la educación se basan a menudo en ideas populares pero falsas o inexactas sobre el funcionamiento del cerebro, los así llamados «neuro-mitos».

2. Neuroeducación y mitología cerebral

Los entusiastas de la neuroeducación afirman que si en vez de dejarnos llevar por la inercia y seguir confiando en los métodos tradicionales pudiéramos en práctica una nueva educación basada en la ciencia del cerebro, todo iría mucho mejor en las aulas. Nuestros hijos y quizá nosotros mismos aprenderíamos de una forma más eficaz y lograríamos desarrollar al máximo nuestras capacidades mentales. Sin embargo, algunos especialistas creen que el entusiasmo por la neuroeducación revela una actitud excesivamente ingenua respecto a la posibilidad de traducir los conocimientos de la neurociencia en nuevas y más eficaces prácticas educativas. Una actitud que frecuentemente se basa en un conjunto de creencias acerca del funcionamiento de la mente y del cerebro que tienen poco que ver con los conocimientos reales de la psicología experimental y neurociencia. El amplio eco que la neuroeducación ha tenido entre los profesionales de la enseñanza se explica en gran parte por la popularidad y aceptación que estas falsas creencias sobre la mente y el

cerebro, para las que se ha acuñado el término de «neuromitos», han logrado en el ámbito educativo.

Estudios recientes llevados a cabo en varios países, España incluida, han analizado la influencia de los neuromitos en el ámbito educativo y han encontrado que algunos de ellos gozan de una sorprendente popularidad entre padres y docentes. Uno de ellos es la difundida creencia de que normalmente utilizamos sólo una pequeña parte de nuestro cerebro (el 10% es la estimación más habitual) y que, por tanto, nos queda por descubrir un vasto continente de capacidades mentales que correctamente explotadas podrían otorgarnos verdaderos superpoderes intelectuales. Por supuesto, esta creencia carece de toda base empírica, a pesar de lo cual casi la mitad de los educadores entrevistados en países como Inglaterra, Holanda, Turquía, Grecia y China, la consideran correcta. Pero las creencias más populares, con índices de credibilidad por encima del 90%, se refieren a la tan traída y llevada diferencia entre los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho y a la enormemente popular teoría de los «estilos» de aprendizaje. El primer neuromito afirma que los hemisferios cerebrales alojan dos tipos distintos de mente, en el hemisferio izquierdo una mente lógica y racional que procesa la información de modo secuencial y en el hemisferio derecho otra mente intuitiva, emocional y artística que tiene un modo de funcionamiento más global y «holístico». La teoría de los estilos de aprendizaje, a su vez, postula que cada niño se caracteriza por un estilo predominante de aprendizaje que favorece lo visual, lo auditivo o lo cinestésico (es decir, la percepción del propio cuerpo y sus movimientos). Ninguna de estas teorías está justificada según los conocimientos actuales de la psicología y la neurociencia. A pesar de ello, la alta credibilidad de que gozan entre educadores y pedagogos ha hecho posible que en muchos centros escolares se adopten métodos alternativos de enseñanza basados en la identificación de los niños como de cerebro izquierdo o derecho o como visualizadores, auditivos o inclinados hacia su propio cuerpo. Un dato descorazonador es que los estudios sobre la prevalencia de los neuro-mitos concluyen que los educadores más entusiastas y que más se han preocupado de obtener información acerca de la utilidad de la neurociencia en la enseñanza son precisamente quienes suelen otorgarles más credibilidad.

El mito de los dos cerebros

La teoría de los dos cerebros aplicada a la educación mantiene que los métodos pedagógicos tradicionales están sesgados hacia el cultivo de las capacidades del hemisferio izquierdo, dando primacía a la lógica, el lenguaje, las ciencias o las matemáticas y descuidando por completo el desarrollo de las capacidades artísticas y creativas, supuestamente dependientes del hemisferio derecho. Dado este desequilibrio, nos dicen, es preciso desarrollar nuevas técnicas pedagógicas que potencien las facultades del hemisferio derecho y pongan al niño en contacto con su yo más intuitivo y emocional, favoreciendo así la integración de sus dos naturalezas mentales. Quienes proponen la adopción de estas técnicas prometen avances casi milagrosos en la educación infantil. Por eso no sorprende que profesores y pedagogos cargados de buena voluntad y deseos de sacar lo mejor de sus alumnos hayan dado crédito a teorías del aprendizaje y sistemas de enseñanza completamente ineficaces basados las más de las veces en la fantasía de sus autores. Un buen ejemplo de ello es el interés despertado en el mundo pedagógico por el sistema de enseñanza 4MAT, inventado por la educadora Bernice McCarthy. Este sistema se basa en la desacreditada teoría de los estilos de aprendizaje, según la cual, para sacar el máximo partido a las capacidades de cada niño sin violentar su naturaleza, es preciso educarle de acuerdo con su estilo preferido de aprendizaje. El problema es que nadie ha demostrado que siguiendo las técnicas propuestas por los defensores de esta teoría se logre nada diferente a lo que se consigue con los métodos más tradicionales de enseñanza. Este resultado no es sorprendente si se tiene en cuenta que la teoría de los estilos de aprendizaje es poco más que un conjunto de ideas vagamente psicológicas aderezadas con una buena dosis de fantasía y bellas palabras.

De acuerdo con los más rancios estereotipos sexuales, una variante de la teoría popular de los dos cerebros establece una relación entre el sexo y los estilos mentales característicos de cada hemisferio. Como era de esperar, en los hombres tiende a predominar el lógico y racional hemisferio izquierdo, mientras que en las mujeres el que manda es el intuitivo y emocional hemisferio derecho. La idea no es nueva y fue ya defendida por el médico francés Maurice Klippel en un artículo titulado «La no equivalencia de los dos

hemisferios cerebrales», publicado en 1898, en el que afirmaba: «los términos “hemisferio masculino” y “hemisferio femenino” transmiten bien la diferente naturaleza de los dos cerebros, uno de los cuales, el más intelectual, es más estable, mientras que el otro es más excitable y también se agota más fácilmente»³⁰. Pasado más de un siglo desde que se escribieron estas palabras, basta una rápida búsqueda en internet para aterrizar en sitios en los que profesionales de la psicología hacen aseveraciones tan gratuitas como que «equilibrar nuestras parte masculina y femenina, regidas por cada uno de los hemisferios cerebrales, es una de las grandes claves para lograr el equilibrio personal y afianzar la propia individualidad». Aunque hay numerosas pruebas que apuntan a la existencia de sutiles diferencias morfológicas y funcionales entre los cerebros «promedio» de hombres y mujeres, ninguna de ellas sugiere la existencia de un hemisferio masculino y otro femenino. Tampoco es difícil encontrar en internet supuestos tests psicológicos que nos permiten averiguar rápidamente si somos más de hemisferio izquierdo o derecho, como los desarrollados por Anne Moir, doctorada en genética por la Universidad de Oxford y coautora, junto a David Jessel, del éxito de ventas mundial *El sexo en el cerebro, la verdadera diferencia entre hombre y mujer*. En una desgraciada aplicación de su teoría sobre las diferencias sexuales, Anne Moir ha preconizado la educación segregada por sexos, con el fin, según sus propias palabras, de «reducir la diferencia entre chicos y chicas». En una entrevista periodística realizada con motivo de su visita a España en 2011, la doctora Moir afirmaba lo siguiente: «Si se desea reducir las diferencias entre chicos y chicas, se debe educar a ambos sexos de forma separada y diferente. Si no, discriminaríamos negativamente a los hombres. Y es que, si no se aprende, la socialización es irrelevante. Uno se socializa cuando aprende, y simplemente por convivir no se pegan las cosas. En las escuelas en las que se coeduca no se enseña, y puede ser contraproducente»³¹. Sobran los comentarios.

3. Plasticidad neuronal: la base neurobiológica del aprendizaje y la educación

Si la educación otorga nuevos conocimientos y capacidades es a través de su efecto duradero sobre el cerebro de quien la recibe. Pero la educación no es en este sentido diferente de cualquier otra experiencia de aprendizaje. Experiencias cotidianas como seguir los capítulos de una serie de televisión, jugar en el patio de la escuela, discutir con los compañeros de clase o chatear por el teléfono móvil contribuyen a la adquisición de nuevos conocimientos y a la configuración de la memoria personal, procesos que conllevan la sutil remodelación de múltiples circuitos cerebrales y que, por tanto, suponen un continuo proceso de modificación del cerebro.

La capacidad del cerebro para adquirir nueva información, aprender nuevas destrezas o interiorizar nuevos códigos morales depende de una compleja y esencial propiedad de las células nerviosas, la plasticidad. Toda forma de aprendizaje produce sus efectos a largo plazo gracias a la capacidad de las neuronas para modificar su funcionamiento y estructura en respuesta a las experiencias del individuo. Tal como afirman los defensores de la neuroeducación, una buena educación, especialmente durante las primeras etapas, debería actuar como elemento propulsor y facilitador de la plasticidad neuronal y, aún más importante, hacerlo en los ámbitos que más favorezcan el desarrollo de las capacidades intelectuales, sociales y emocionales del niño. Fácil decirlo, pero mucho más difícil de poner en práctica porque, a pesar de algunas propuestas excesivamente entusiastas, existe aún una enorme distancia entre la investigación básica en neurociencia y su aplicación a la educación. Idealmente, la tan traída y llevada neuroeducación debería consistir en la aplicación de los conocimientos sobre el modo en que el cerebro aprende, asimila y adquiere información con el fin de implementar métodos pedagógicos más eficaces. Sin embargo, el desarrollo de métodos educativos más eficaces basados en la investigación del cerebro no deja de ser un deseo cuya realización sigue siendo incierta. A pesar de ello, conocer el modo en que la experiencia y el aprendizaje modifican los circuitos neuronales y cómo el cerebro aprende y almacena nuevos conocimientos puede darnos una visión más realista de lo que la neurociencia puede y no puede aportar a la educación.

Estructura y función: las dos caras de la plasticidad neuronal

Gracias a la plasticidad sináptica, la experiencia puede modificar de forma temporal o permanente el funcionamiento y la estructura de las redes neuronales de nuestro cerebro. El término genérico de «experiencia» se refiere aquí a los múltiples y variados resultados de la interacción del sujeto con su medio ambiente, ya sea debido a la simple exposición a patrones recurrentes de estimulación o a la ejecución de conductas activas orientadas a la manipulación del entorno, la adquisición de conocimientos o el aprendizaje y perfeccionamiento de nuevas destrezas. Ejemplos de lo primero serían la experiencia de la rutina escolar diaria, con su secuencia de horas de estudio y descanso, el patrón secuenciado de estimulación procedente de la punta de los dedos al tocar una escala al piano o la visión del bigrama «BA» escrito en una hoja de papel, acompañado repetidamente del sonido correspondiente a su pronunciación. Ejemplos de experiencia mediada por la actividad voluntaria del sujeto serían, en cambio, el aprendizaje de la escritura o de las reglas de la aritmética o la comprensión de conceptos científicos como «gen», «masa» o «supernova».

La plasticidad neuronal, o plasticidad sináptica, se manifiesta de dos formas principales. Una de ellas, la plasticidad funcional, conlleva cambios en la eficacia con que las neuronas se comunican entre sí. Como es bien sabido, la comunicación interneuronal tiene lugar a través de las sinapsis, las microscópicas hendiduras que separan a las células de un circuito neuronal. En un hipotético circuito compuesto únicamente por dos neuronas, una de entrada (neurona presináptica) y otra de salida (neurona postsináptica), la comunicación tiene lugar a través de la acción de las moléculas de neurotransmisor liberadas por la célula presináptica sobre los receptores de la célula postsináptica. La intensidad de la respuesta de esta última a la estimulación procedente de la célula presináptica es lo que define la «fuerza» o eficacia de la conexión. Pues bien, la plasticidad funcional consiste básicamente en la modificación de esa fuerza, algo que ya anticipó Santiago Ramón y Cajal, quien recibió en 1906 el premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus estudios sobre la estructura fina del sistema nervioso. Esta

forma de plasticidad se manifiesta como una alteración duradera de la fuerza de las conexiones sinápticas debido a la estimulación repetida de los circuitos neuronales. Dependiendo de sus precisas condiciones y parámetros, el resultado de la estimulación puede ser el incremento o la reducción de la fuerza o eficacia de las conexiones sinápticas. Cuando esta alteración se mantiene durante un tiempo relativamente prolongado puede decirse que el circuito neuronal ha aprendido. En las redes neuronales reales, estos cambios plásticos tienen lugar en múltiples sinapsis, de modo que el aprendizaje se manifiesta como una alteración relativamente duradera del mapa de fuerzas de conexión entre sus elementos.

La segunda forma de plasticidad tiene efectos estructurales e implica la remodelación de los circuitos neuronales a través de la formación de nuevas conexiones. Esta plasticidad estructural es la que permite el asentamiento o consolidación a largo plazo de los efectos del aprendizaje y la que subyace a la adquisición de nuevas destrezas como la lectura, el manejo de herramientas o el dominio de un instrumento musical. La idea de que el aprendizaje y la memoria se basan en último término en cambios morfológicos producidos en los circuitos neuronales fue formulada explícitamente por vez primera por el psicólogo Donald Hebb en su influyente obra *La organización de la conducta*, publicada en 1949. La desde entonces conocida como «regla de Hebb» postulaba que, «cuando dos neuronas están activas repetidamente de forma simultánea tiene lugar entre ellas algún proceso de crecimiento tal que posteriormente la actividad en una de ellas dará origen a la actividad en la otra»³². Lo que en tiempos de Hebb o Ramón y Cajal era sólo especulación bien fundada, es hoy parte de los conocimientos fundamentales de la neurociencia.

Actualmente se conocen con notable detalle los mecanismos celulares y moleculares en que se basa la plasticidad neuronal. Ello se debe en gran parte al ambicioso programa de investigación desarrollado por el neurobiólogo Erik Kandel a lo largo de varias décadas. Comenzando a finales de la década de 1960, Kandel y su equipo de investigación llevaron a cabo numerosos estudios orientados a descubrir los mecanismos básicos de la plasticidad neuronal que permiten la adquisición de nuevas conductas y conocimientos. Para ello, Kandel se basó en el estudio intensivo de formas elementales de aprendizaje

en un modesto animal marino, la ahora famosa *Aplysia Californica* o liebre de mar, un molusco nudibranquio con un sistema nervioso que a pesar de su simplicidad le permite aprender de la experiencia. Erik Kandel recibió en el año 2002 un merecido premio Nobel por sus descubrimientos sobre la neurobiología de la memoria en la aplysia, sin duda una de las principales contribuciones de la neurociencia a la comprensión del funcionamiento del cerebro. Una de las aportaciones más destacadas de Kandel es la diferenciación entre los procesos de plasticidad que subyacen a la memoria transitoria y a la memoria duradera o de largo plazo. Mientras que la memoria transitoria requiere únicamente cambios funcionales en los circuitos neuronales, la formación de huellas duraderas de memoria precisa además alteraciones estructurales en las sinapsis. Más concretamente, la consolidación a largo plazo de los efectos del aprendizaje conlleva la remodelación de las sinapsis previamente existentes y la formación de nuevos contactos, para lo cual es necesaria una compleja secuencia de procesos moleculares que implican la síntesis de nuevas proteínas a partir de la correspondiente activación de genes en el núcleo de la neurona.

Neurogénesis: el nacimiento de nuevas neuronas

Las neuronas son las células más longevas de nuestro organismo. Las células de la piel sobreviven sólo unas pocas semanas y los glóbulos rojos poco más de cien días, mientras que los hepatocitos (células del hígado) pueden durar hasta diecisiete meses. La mayoría de nuestras neuronas, en cambio, nos acompañarán durante toda la vida si tenemos la suerte de no desarrollar ninguna enfermedad que las destruya. Investigaciones con modelos animales indican incluso que las neuronas pueden prolongar su vida útil más allá de la vida media de la especie si se trasplantan al cerebro de un individuo de una especie más longeva.

Un dogma tradicional de la neurobiología mantenía que en el cerebro adulto no se generan nuevas neuronas y que si una célula del sistema nervioso muere no se producen células nuevas que la sustituyan. Según este dogma, el número de neuronas del cerebro adulto sería una cantidad fija que sólo puede

variar hacia abajo debido al daño cerebral o al deterioro causado por enfermedades neurodegenerativas. Sin embargo, a comienzos de la década de los ochenta el biólogo argentino Fernando Nottebohm descubrió sorprendentes cambios en el volumen de ciertas regiones del cerebro de los canarios en correspondencia con el comienzo de la época de celo y el aprendizaje anual de un nuevo canto. Nottebohm logró demostrar que estos cambios se debían a la producción de nuevas neuronas en regiones cerebrales implicadas en la producción del canto y supuso que su función era facilitar el aprendizaje anual de nuevas melodías. Se había demostrado una nueva e inesperada capacidad del cerebro que parecía estar al servicio del aprendizaje, la neurogénesis. Este descubrimiento desmintió una creencia profundamente arraigada y proporcionó una prueba más de que las experiencias de aprendizaje van asociadas a significativos cambios estructurales en el cerebro. A partir de los descubrimientos de Nottebohm, numerosos estudios han demostrado la realidad de la neurogénesis en el cerebro adulto de varias especies de mamíferos, incluida, por supuesto, la nuestra.

Un dato de especial interés es que la neurogénesis en el cerebro adulto se observa precisamente en el hipocampo, una estructura esencial para la formación y consolidación de nuevos recuerdos. En realidad, mucho antes de que se descubriese la neurogénesis asociada al aprendizaje del canto en los canarios, otros investigadores ya habían obtenido indicios del nacimiento de nuevas neuronas en el cerebro de las ratas, precisamente en el hipocampo. Actualmente no hay duda de que la neurogénesis puede ser desencadenada por factores ambientales y de que no se trata simplemente de un proceso restaurativo orientado a compensar posibles pérdidas o deterioros en los circuitos neuronales. A pesar de ello, lo cierto es que aún no se sabe exactamente cuál es su papel en la formación y consolidación de la memoria.

Aunque la función exacta de la neurogénesis en el cerebro adulto es aún una cuestión controvertida, sí se conocen algunos factores que la afectan. Tres bien conocidos son el estrés, el ejercicio físico y la estimulación ambiental. La exposición a condiciones generadoras de estrés va asociada a una reducción de la neurogénesis, que a su vez se corresponde con un peor rendimiento cognitivo y un aumento de la ansiedad. Por el contrario, tanto la exposición a estimulación ambiental compleja como el ejercicio físico controlado

favorecen la neurogénesis, mejoran el rendimiento cognitivo y reducen las conductas asociadas a la ansiedad. Los efectos beneficiosos del ejercicio parecen estar mediados por su capacidad para facilitar la circulación sanguínea y la angiogénesis (la generación de nuevos vasos sanguíneos), lo que favorece el suministro de oxígeno y nutrientes al cerebro. Un dato más a tener en cuenta es que la alimentación con un porcentaje excesivo de grasas y la obesidad interfieren los procesos de neurogénesis, contribuyendo a reducir la generación de nuevas neuronas.

Resultados como los recién comentados no nos dicen nada acerca de cómo abordar la educación en el aula, pero sí tienen importantes implicaciones en cuanto a cuestiones más generales como los hábitos de vida que pueden resultar más saludables para los cerebros más jóvenes. Por una parte, los efectos demostrados del ejercicio físico sobre la neurogénesis justifican el clásico proverbio de *mens sana in corpore sano* e indican que unas horas semanales de actividad física sabiamente organizada pueden contribuir a la salud cerebral tanto o más que la dedicación a tediosos y solitarios ejercicios mentales de dudosa eficacia. Por otra, los efectos demostrados de la dieta sobre la neurogénesis y otros muchos aspectos de la actividad cerebral y el rendimiento cognitivo nos alertan de las peligrosas consecuencias de la desnutrición y ponen de manifiesto la importancia crucial de una dieta sana y equilibrada como complemento esencial de una buena educación.

4. Cómo la educación modifica el cerebro: el ejemplo de la lectura

El aprendizaje de la lectura es la puerta de entrada a la educación. Por ello, la adquisición de la habilidad lectora es la principal experiencia de aprendizaje formal y culturalmente guiada a la que todos los niños son, o deberían, ser expuestos. Leer es una habilidad compleja que requiere la integración de los aspectos ortográficos, fonológicos y semánticos de las palabras, tarea a la que contribuyen distintos sistemas neuronales que conjuntamente configuran el sistema cerebral de la lectura. Este sistema es producto del aprendizaje y,

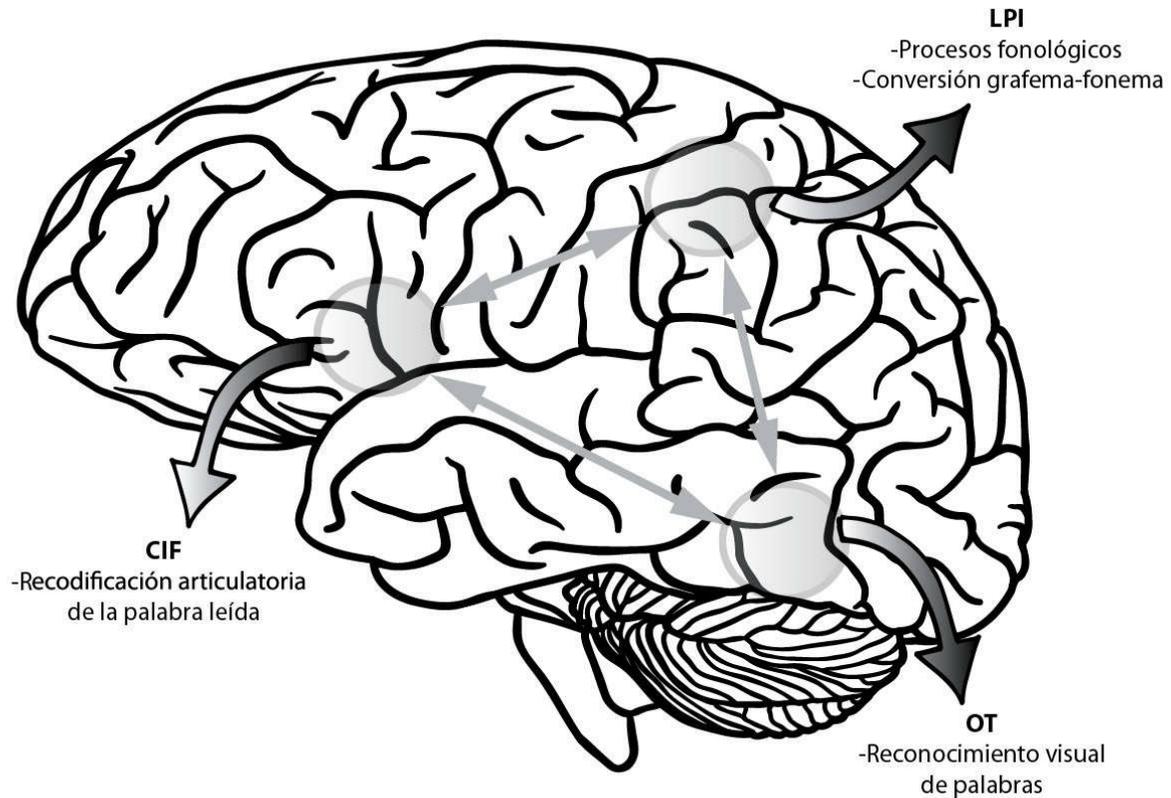
como tal, puede decirse que aprender a leer, igual que aprender otras habilidades complejas que requieren de una práctica intensiva y continuada, modifica literalmente nuestro cerebro.

Una red cerebral para la lectura

Numerosos estudios de neuroimagen han permitido identificar en el hemisferio izquierdo distintas regiones implicadas en la lectura. En los adultos que han adquirido normalmente la lectura durante la infancia, este sistema forma una amplia red distribuida por las cortezas occipital, temporal, parietal y frontal izquierdas. Cada uno de los componentes de este sistema desarrolla funciones complementarias. Por ejemplo, las regiones occipito-temporales están implicadas en el reconocimiento visual de las palabras y en la recuperación de sus significados almacenados en la memoria semántica. Complementariamente, redes neuronales de la corteza frontal inferior son las encargadas de los aspectos fonológicos de la lectura. Mediante la interacción entre estos sistemas el cerebro establece la correspondencia entre los aspectos ortográficos, fonológicos y semánticos de las palabras, que es la base de la capacidad lectora.

FIGURA 1

Sistema cerebral de la lectura



Fuente: Richlan, F. (2012). Developmental dyslexia: dysfunction of a left hemisphere reading network. *Frontiers in human neuroscience*, 6, p. 120. CIF: córtex inferofrontal; LPI: lóbulo parietal superior; OT: córtex occipitotemporal.

El sistema cerebral de la lectura se va construyendo progresivamente durante el curso del aprendizaje. Cuando se comparan los mapas de activación cerebral durante la lectura en niños que están comenzando su aprendizaje y en lectores adultos se observan patrones de actividad notablemente diferentes. Los avances en el aprendizaje van acompañados de una intervención cada vez mayor de las redes temporales, parietales y frontales implicadas en el procesamiento fonológico y semántico. La adquisición de la destreza lectora conlleva además una intervención cada vez menor de las regiones del hemisferio derecho que inicialmente participan en la identificación visual de las palabras. Esto indica que la lateralización de esta capacidad en el hemisferio izquierdo es también producto del aprendizaje. Por otra parte, la estructura y organización exactas del sistema cerebral de la lectura depende de las diferentes exigencias planteadas por la ortografía de cada lengua.

El grado de correspondencia entre fonemas y grafemas en diferentes

lenguas afecta a la adquisición de la habilidad lectora en diferentes lenguas. Por ejemplo, esa correspondencia es mucho más consistente en lenguas como el italiano y el español que en inglés. Mientras que los 44 sonidos del inglés británico pueden escribirse de más de 1.100 formas diferentes, en italiano 33 grafemas bastan para representar los 25 sonidos básicos de la lengua. Esta diferencia hace que el ritmo de aprendizaje de la lectura sea más lento para los niños ingleses que para los italianos o españoles y explica en parte la dificultad que la mayoría de los hablantes nativos del español o el italiano experimentan con la pronunciación del inglés. Utilizando palabras reales y palabras inventadas pero similares a las de cada idioma materno respectivo, se ha demostrado que los estudiantes universitarios ingleses leen más lentamente que los italianos. Una diferencia que se corresponde con un distinto patrón de actividad cerebral durante la lectura. Mientras que algunas áreas del sistema cerebral de lectura muestran un nivel de actividad similar en ambas lenguas, otras manifiestan diferencias que indican la intervención de diferentes procesos en correspondencia con los distintos requerimientos de la lectura en una u otra lengua.

El aprendizaje de la lectura da origen, como ya hemos visto, a sutiles alteraciones estructurales en los circuitos cerebrales implicados. Pero dado que este aprendizaje normalmente tiene lugar cuando el cerebro está en pleno desarrollo, los cambios estructurales debidos al aprendizaje se confunden con los atribuibles al propio desarrollo cerebral. Por esta razón, las demostraciones más convincentes de que el aprendizaje de la lectura por sí solo modifica el cerebro proceden de estudios llevados a cabo con personas que han aprendido a leer a una edad tardía, cuando el cerebro ya ha alcanzado su configuración adulta. Éste fue el objetivo de un estudio llevado a cabo con un grupo de jóvenes guerrilleros colombianos no alfabetizados que habían abandonado la lucha armada al principio de la década del 2000, dirigido por Manuel Carreiras, del Centro Vasco de Cognición, Cerebro y Lenguaje. Mediante técnicas de resonancia magnética estructural que permiten estudiar con gran precisión la morfología cerebral, se comparó a un grupo de guerrilleros que habían aprendido a leer al reincorporarse a la sociedad colombiana con otro grupo que aún no había iniciado su periodo de aprendizaje.

Las imágenes cerebrales revelaron la presencia de cambios significativos en el cerebro de los aprendices tardíos. Concretamente, se observó en este grupo un incremento de la densidad de materia gris, formada por la acumulación de cuerpos o somas neuronales, en varias regiones temporales y occipitales del sistema cerebral de la lectura. Este incremento se observó también en algunas zonas de los dos hemisferios que participan en el procesamiento visual de las palabras cuando se inicia el aprendizaje de la lectura. Asimismo, el estudio reveló un incremento de la sustancia blanca, formada por los axones o prolongaciones de las neuronas, en la zona posterior del cuerpo calloso encargada de conectar los sistemas de procesamiento visual de ambos hemisferios. Los autores del estudio concluyeron que el aprendizaje de la lectura fomentó la comunicación interhemisférica, facilitando así el procesamiento visual de las palabras, que es uno de los componentes fundamentales de la lectura. Obviamente, el hecho de que estos resultados se obtuviesen en sujetos adultos con un cerebro plenamente desarrollado limita su significación al caso poco común del aprendizaje de la lectura en la edad adulta. Sin embargo, este estudio constituye una excelente demostración del modo en que un elemento esencial del aprendizaje académico como es la lectura promueve la plasticidad neuronal y modifica el funcionamiento y la estructura del cerebro.

La dislexia y el cerebro

La dislexia es un trastorno frecuente y bien conocido del aprendizaje de la lectura. Su persistencia a pesar de variaciones en las condiciones sociales y en la experiencia educativa, así como la frecuente presencia de antecedentes familiares, han permitido establecer con seguridad su origen genético. Distintos estudios revelan una prevalencia de este trastorno del aprendizaje temprano en torno al 5-10% entre los niños en edad escolar. A pesar de haber sido adecuadamente escolarizados, no mostrar déficits sensoriales, tener una inteligencia normal y desempeñarse correctamente en otros aspectos, los niños disléxicos muestran un retraso específico en el aprendizaje de la lectura. No obstante, algunos estudios indican que la dislexia podría ser un trastorno de

carácter más general, ya que a menudo va acompañada de dificultades en otros ámbitos, como la atención o la coordinación motora.

Un aspecto central de la dislexia es la dificultad para procesar los sonidos del habla, lo que se conoce como procesamiento fonológico. Los fonemas son los elementos mínimos que en una lengua permiten diferenciar unas palabras de otras, por ejemplo «cara» y «casa» o «bolo» y «polo». Los niños con dislexia suelen tener una reducida capacidad de memoria verbal a corto plazo, es decir, que recuerdan un menor número de una serie de estímulos verbales recién presentados que los demás niños de su edad. Además, suelen tener dificultades para repetir en voz alta palabras nuevas o para realizar tareas aparentemente sencillas como encontrar palabras que rimen entre sí. Por esto se dice que los disléxicos tienen una deficiente «conciencia fonológica», es decir, una reducida capacidad para segmentar las palabras en sus elementos constituyentes, darse cuenta de las relaciones entre fonemas y manipularlos deliberadamente. Es como si el cerebro disléxico tratase las palabras como un todo indivisible, más que como un conjunto de fonemas que pueden combinarse de formas diferentes. Observaciones como éstas han llevado a algunos investigadores a proponer una teoría fonológica de la dislexia según la cual su principal causa sería un deficiente procesamiento de los sonidos del habla. Por esta razón, los programas de intervención más eficaces para la corrección de la dislexia incluyen como elemento esencial la práctica intensiva en tareas que favorecen el desarrollo de la consciencia fonológica y el establecimiento de relaciones entre letras y sonidos.

Los estudios de neuroimagen en los que se ha comparado a personas disléxicas con controles sin dificultades de lectura indican que el cerebro del disléxico maneja los sonidos del habla de un modo particular. Por ejemplo, se ha observado que durante la lectura los disléxicos muestran una inferior actividad que los controles en las regiones parietales y temporales implicadas en el procesamiento fonológico y el reconocimiento visual de las palabras. La región más estrechamente implicada en el reconocimiento de palabras, la así llamada «área de la forma visual de las palabras», se halla localizado precisamente en la corteza temporal izquierda. Por otra parte, se ha observado que en los niños disléxicos continúan activándose los mismos sistemas del hemisferio derecho cuya actividad normalmente va reduciéndose a medida que

progresa el aprendizaje en los niños con un desarrollo normal de la lectura. Es posible que esta última observación refleje la utilización compensatoria de sistemas del hemisferio derecho para contrarrestar el funcionamiento deficitario del sistema normal de lectura del hemisferio izquierdo.

Los tratamientos basados en la teoría fonológica de la dislexia logran compensar, al menos parcialmente, los efectos de la dislexia, produciendo mejoras significativas en distintos índices de capacidad lectora. En un estudio llevado a cabo por un grupo de investigadores de la Universidad de York (Inglaterra), niños con dificultades de lectura fueron expuestos durante varias semanas a un programa compensatorio consistente en el entrenamiento explícito de la lectura junto con una serie de tareas destinadas a aumentar la consciencia fonológica. Veinte semanas de entrenamiento lograron mejoras significativas en lectura, comprensión lectora y deletreo, beneficios que se mantuvieron en un seguimiento realizado once meses después del tratamiento. De forma paralela a estos cambios directamente observables, se ha demostrado que los tratamientos orientados a fomentar las habilidades fonológicas logran normalizar la actividad en los sistemas parietales y temporales del sistema cerebral de lectura en los disléxicos. Algunos estudios han demostrado también cambios significativos en algunas regiones del hemisferio derecho. Aunque normalmente no estén implicadas en la lectura, es posible que la activación de esas regiones del hemisferio no lingüístico tenga una función compensatoria destinada a contrarrestar el funcionamiento deficitario de las áreas típicas de lectura del hemisferio izquierdo. Es posible, por tanto, que los tratamientos de la dislexia sean efectivos no tanto por su capacidad para restablecer las funciones alteradas como por proporcionarle al sujeto medios alternativos que le permitan compensar sus déficits iniciales. Sea como fuere, los efectos paralelos del tratamiento de la dislexia sobre la conducta observable y el funcionamiento cerebral son un buen ejemplo de cómo la plasticidad neuronal guiada por un entrenamiento bien estructurado puede normalizar el funcionamiento de redes neuronales defectuosas o reclutar a otras nuevas para llevar a cabo funciones adicionales.

Basándose en los resultados de los estudios de neuroimagen, algunos especialistas consideran que la dislexia podría ser el resultado de una trayectoria anómala de desarrollo cerebral determinada genéticamente y que

afectaría a los sistemas que normalmente asumen las funciones necesarias para el aprendizaje y práctica de la lectura. Una idea similar se ha propuesto para explicar el surgimiento de otros trastornos del desarrollo, como el autismo, o de enfermedades mentales como la esquizofrenia. La diferencia entre estas diferentes patologías radicaría en cuáles son los sistemas neuronales cuyo desarrollo se ha desviado de la trayectoria normal. Dependiendo de cuáles sean exactamente las funciones afectadas, el resultado será un diferente «fenotipo» conductual y cognitivo cuya forma final puede además depender de la interacción con distintos factores ambientales³³. En el caso de la dislexia parece que es posible corregir o compensar esas desviaciones mediante tratamientos bien diseñados orientados al entrenamiento de las distintas habilidades que configuran la capacidad lectora. Mediante una práctica intensiva, estos tratamientos aprovechan la plasticidad de los sistemas cerebrales para modificar su funcionamiento de forma adaptativa y duradera.

Resulta instructivo comparar los efectos de los tratamientos orientados al entrenamiento de las capacidades de procesamiento fonológico con otros programas de intervención basados en una teoría alternativa sobre las causas de la dislexia. Durante un tiempo se creyó que la dislexia era causada por un déficit de la percepción visual, una teoría cuya validez ha sido luego cuestionada y abandonada en favor de la explicación fonológica actual. Se ha dicho, por ejemplo, que en los disléxicos aparece con mayor frecuencia un trastorno visual denominado síndrome de Meares-Irlen³⁴, que supuestamente va asociado a dificultades en la lectura. Sin embargo, lo cierto es que la propia existencia del síndrome ha sido cuestionada por los especialistas en visión. En cualquier caso, la prevalencia de los síntomas de este supuesto síndrome en los disléxicos parece ser similar a la de la población general y actualmente se considera que, en cualquier caso, no guardan relación alguna con la etiología de la dislexia. Sin embargo, a partir de esta teoría se ha propuesto un tratamiento de la dislexia basado en el uso de gafas con filtros de colores que supuestamente facilitarían la lectura al hacer que las letras sean procesadas por el cerebro de forma más eficaz. El consenso actual entre los especialistas es que este método es totalmente ineficaz y así lo demuestran los estudios que indican que su aplicación no tiene efecto alguno sobre la capacidad lectora de los disléxicos. A pesar de ello, aún hoy una institución

denominada Instituto Irlen abre su página web con el pomposo eslogan «Irlen, el lugar donde la ciencia del color transforma vidas», promocionando la venta y uso de sus gafas de colores para el tratamiento de condiciones tan variadas como la dislexia, el autismo, el TDH (trastorno de déficit atencional e hiperactividad) el dolor de cabeza o las consecuencias del traumatismo craneoencefálico. Un buen ejemplo de cómo una teoría errónea sobre el cerebro y la conducta puede llevar a la difusión y explotación comercial de prácticas inútiles que una vez puestas en funcionamiento resultan difíciles de controlar.

5. El cerebro en desarrollo

En el desarrollo de los seres humanos, la adolescencia, marcada por el inicio de la pubertad, es un periodo de intensos cambios fisiológicos y psicológicos temido por padres y maestros. Los cambios en la conducta social y emocional, el despertar del deseo sexual y un sentido cada vez más acusado de la propia identidad van parejos a importantes alteraciones hormonales y a los consecuentes cambios físicos, como el crecimiento acelerado o la aparición de caracteres sexuales secundarios. Desde el punto de vista del desarrollo individual, la adolescencia es el periodo de transición que marca el paso de la infancia a la edad adulta y como tal es una de las etapas vitales más determinantes en el desarrollo de la personalidad. Pero ¿qué papel desempeña el cerebro en todos estos cambios?, ¿cuál es la relación entre el desarrollo cerebral durante la adolescencia y los notables cambios cognitivos, sociales y emocionales característicos de ese periodo? Los estudios más recientes indican que los cambios conductuales más visibles y las modulaciones más sutiles y a veces dolorosas de la vida interior que tiene lugar durante la adolescencia se corresponden con un periodo especialmente sensible del desarrollo cerebral.

Experiencia temprana y periodos críticos

Se ha discutido mucho sobre la importancia de las primeras fases del desarrollo individual en la determinación de la conducta y la personalidad. Una idea enormemente popular y difícilmente comprobable, procedente de la teoría freudiana, es que la dinámica de las relaciones familiares durante los primeros años de la vida da origen a conflictos psíquicos, como el mítico «complejo de Edipo», que marcan de forma indeleble la mente infantil y determinan la psicología adulta. Desde otra perspectiva más naturalista, estudiosos del comportamiento animal, como el laureado Konrad Lorenz, nos han proporcionado detalladas descripciones del modo en que la experiencia temprana moldea la conducta social de las crías de múltiples especies. Desde la neurobiología, investigadores como Hubel y Wiesel demostraron en sus estudios con gatitos, realizados en la década de 1960, los dramáticos efectos de la privación sensorial temprana sobre el desarrollo de los sistemas perceptivos. Etólogos y neurobiólogos demostraron que experiencias tempranas como la exposición a cierto tipo de estímulos o la privación sensorial tenían efectos aparentemente irreversibles sobre la conducta si ocurrían en ciertos momentos clave del desarrollo. Estos periodos críticos o sensibles se correspondían con fases del desarrollo individual en las que se abrían temporalmente una especie de ventanas de oportunidad, momentos de alta plasticidad en los que el cerebro sería particularmente maleable y sensible a la estimulación ambiental o a su carencia.

La existencia de periodos críticos o sensibles durante las primeras etapas del desarrollo podría explicar no sólo el modo en que se configuran los sistemas perceptivos en interacción con la estimulación ambiental, sino también el moldeamiento de la conducta social o el rápido aprendizaje de la lengua materna sin esfuerzo aparente y en ausencia de una enseñanza explícita por parte de padres y cuidadores. En efecto, numerosos estudios han demostrado una relación entre la edad de exposición a la estimulación lingüística y el aprendizaje del lenguaje. El aprendizaje más efectivo y la adquisición de un normal dominio del lenguaje tiene lugar en las condiciones más habituales en las que el niño se ve inmerso en un ambiente lingüístico ya desde la primera infancia. Los niños en los que esa experiencia se ha visto demorada muestran posteriormente un dominio del lenguaje que tiende a ser peor cuanto más tardía ha sido la exposición a un entorno lingüístico. Sin

embargo, la exposición demorada tiene un efecto variable sobre los distintos ámbitos de la capacidad lingüística, afectando especialmente a los aspectos formales del lenguaje, es decir, la sintaxis y la fonética. En cambio, la adquisición del vocabulario y el aprendizaje de los aspectos semánticos del lenguaje parecen ser menos sensibles a la exposición demorada, pudiendo alcanzar un nivel relativamente normal en niños que son expuestos al lenguaje a una edad relativamente tardía. Finalmente, la organización cerebral de las facultades lingüísticas también muestra variaciones significativas en los aprendices tardíos. Mientras que la capacidad lingüística se halla normalmente lateralizada en el hemisferio izquierdo, en los aprendices tardíos suele observarse un patrón más diferenciado en el que distintas funciones lingüísticas pueden llegar localizarse indistintamente en uno u otro hemisferio.

Aunque la existencia de periodos en los que el cerebro es especialmente sensible a distintos tipos de estimulación parece un hecho probado, la irreversibilidad de los efectos de la experiencia temprana, la imposibilidad del aprendizaje fuera del periodo crítico o la existencia de ventanas temporales rígidamente definidas y comunes a todos los individuos han sido muy cuestionadas. Pero, a pesar de que las ideas iniciales sobre los periodos críticos se hayan visto notablemente atemperadas, aún sigue vigente entre padres y educadores la creencia de que los niños deben recibir toda la estimulación posible durante sus primeros años para no perder la oportunidad que brindan los periodos más plásticos en el desarrollo del cerebro. Esta creencia está justificada sólo a medias. Por una parte, es cierto que los programas de estimulación precoz se han demostrado eficaces para compensar las deficiencias conductuales, motoras o sensoriales que muestran niños con anomalías neurológicas o que proceden de entornos especialmente desfavorecidos. Sin embargo, la eficacia de la estimulación temprana para acelerar el desarrollo y explotar al máximo las capacidades de niños con un desarrollo normal no está suficientemente demostrada y no justifica las exageradas expectativas que en ella depositan a veces padres y educadores.

Trayectorias de desarrollo

En contra de la vieja creencia de que el desarrollo cerebral se completa en la infancia, los estudios más recientes indican que el cerebro sigue modificándose de forma significativa al menos hasta el final de la adolescencia y quizá más allá. Especialistas en desarrollo infantil han barajado la posibilidad de que la adolescencia sea un segundo periodo sensible en el que el cerebro vuelve a ser especialmente moldeable por la experiencia. A la vista de esta nueva perspectiva sobre el desarrollo cerebral, surgen importantes interrogantes acerca de cuestiones tan sensibles como la mayoría de edad, la responsabilidad penal o los criterios que han de tenerse en cuenta para determinar la edad de consentimiento sexual, el derecho al voto o la facultad para tomar decisiones como la interrupción del embarazo o la aceptación o rechazo de un tratamiento médico en contra de la opinión paterna.

Entre el nacimiento y los diez años de edad el volumen del cerebro se multiplica por cuatro. Durante este proceso se alteran las proporciones entre la materia gris (los cuerpos o somas de las células nerviosas), la materia blanca cerebral, constituida por los axones recubiertos de mielina, y el volumen del líquido cefalorraquídeo contenido en los ventrículos cerebrales. Uno de los indicadores típicos del desarrollo cerebral es el cambio en el volumen relativo de la sustancia gris y la sustancia blanca, especialmente en la corteza cerebral. Los investigadores estudian estos cambios mediante técnicas de neuroimagen estructural que permiten además determinar otros aspectos relevantes, como el grosor o los patrones de plegamiento que adoptan las circunvoluciones y surcos de la corteza cerebral. Mientras que el volumen de la materia blanca cortical muestra un incremento lineal desde la infancia a la adolescencia, el volumen y densidad de la materia gris aumentan entre la primera infancia y la niñez para ir luego reduciéndose hasta estabilizarse durante la adolescencia. Por ejemplo, entre los trece y los diecisiete años se produce una reducción significativa del volumen de materia gris en las cortezas frontal y parietal. Sin embargo, estas regiones muestran durante ese mismo periodo un incremento del volumen de la sustancia blanca. Esto último se debe a la progresiva mielinización de las fibras nerviosas, lo que gracias al efecto aislante de la mielina da lugar a una transmisión más eficaz de los impulsos nerviosos a lo largo de los axones y a una comunicación interneuronal más rápida y eficiente. Por otra parte, la reducción del volumen

de sustancia gris parece ser debida a la eliminación selectiva de neuronas y a procesos de remodelación de los contactos interneuronales, como el «podado» o eliminación de contactos sinápticos.

El proceso inicial de neurogénesis y proliferación de los contactos sinápticos que tiene lugar durante la primera infancia va seguido de un proceso compensatorio consistente en la eliminación o podado de neuronas o sinapsis «sobrantes» o inactivas. En concreto, se estima que el número de sinapsis en el cerebro adulto se reduce en un 40% respecto al pico máximo alcanzado en la infancia. Esta poda selectiva de los contactos sinápticos permite un procesamiento más eficiente y focalizado y reduce el gasto de recursos innecesarios. El logro de una trayectoria normal de desarrollo cerebral, basado en gran parte en estos procesos de selección, es un factor determinante del desarrollo cognitivo y la salud mental en la adolescencia y la edad adulta. Actualmente se considera que no sólo los trastornos del desarrollo y el aprendizaje temprano, como la dislexia, los déficits atencionales o el autismo, sino también enfermedades psiquiátricas como la esquizofrenia, podrían tener su origen en trayectorias anómalas del desarrollo cerebral.

Las investigaciones más recientes indican que no existe un patrón de desarrollo común a todas las regiones cerebrales. Diferentes regiones, tanto corticales como subcorticales, muestran trayectorias de cambio que difieren según la etapa de desarrollo. Durante la adolescencia, por ejemplo, tiene lugar una reducción del volumen de las regiones frontales de la corteza cerebral. Esto contrasta con lo que ocurre durante la infancia, periodo en el que esa reducción ocurre principalmente en las zonas posteriores de la corteza. Estas diferencias parecen reflejar una pauta general de desarrollo de acuerdo con la cual las primeras regiones cerebrales en alcanzar su configuración adulta son las áreas corticales posteriores correspondientes a los sistemas de procesamiento perceptivo. El desarrollo más tardío, por el contrario, tiene lugar en las regiones más frontales, de las que dependen los procesos cognitivos complejos y las capacidades de autocontrol y regulación de la conducta y las emociones. El desarrollo cerebral también lleva consigo cambios en las estructuras situadas bajo la corteza. Diferentes estructuras y núcleos subcorticales tienen a su cargo funciones tan esenciales como el control del movimiento, la respuesta a las recompensas, la regulación

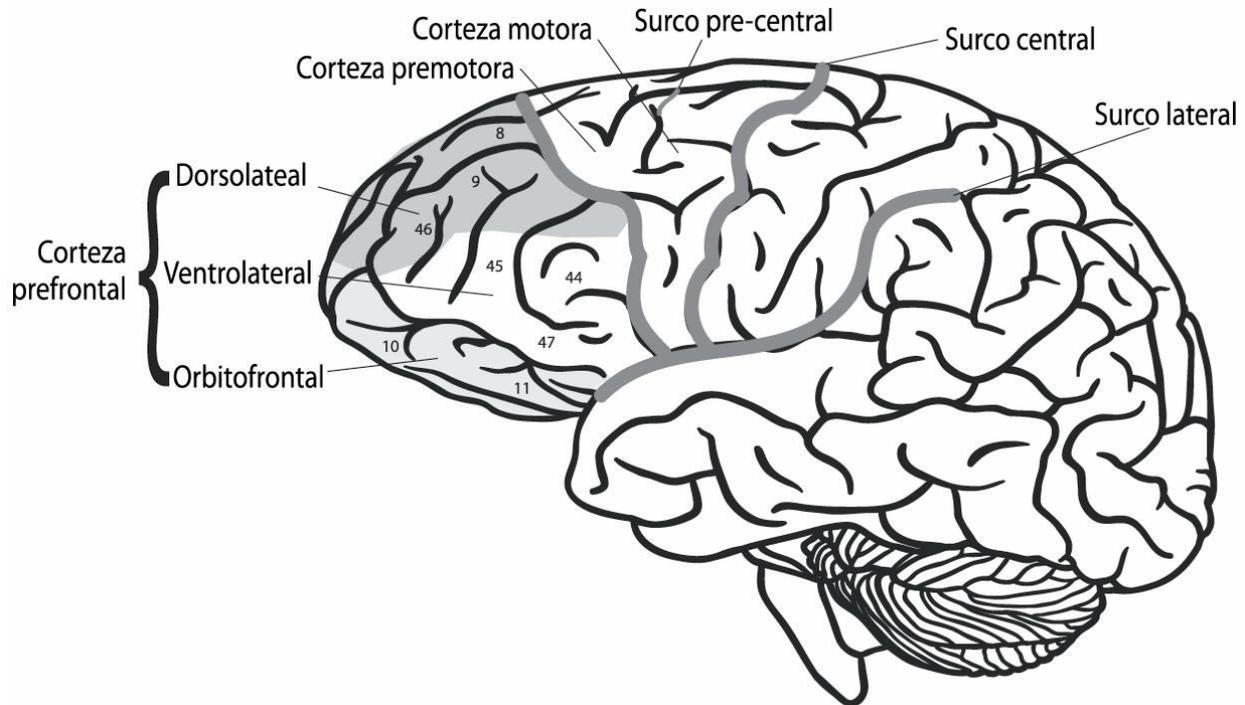
hormonal o la generación de reacciones fisiológicas a estímulos emocionales, como por ejemplo la respuesta corporal al estrés. Estas estructuras también experimentan cambios durante el desarrollo y lo hacen siguiendo patrones que pueden diferir entre uno y otro hemisferio y mostrar variaciones dependientes del sexo.

6. ¿Es el cerebro adolescente un motor sin conductor?

A vueltas con la corteza prefrontal

La corteza prefrontal es la región cortical situada en la región más anterior de los lóbulos frontales, por delante de la corteza motora primaria. Evolutivamente, esta región cerebral alcanza su mayor desarrollo en los primates, especialmente en el hombre. Valga indicar que mientras que el tamaño absoluto de la corteza visual primaria es 1,9 veces mayor en el cerebro humano que en el del chimpancé, la diferencia asciende a 4,5 veces en el caso de la corteza prefrontal. Fibras nerviosas que corren en ambas direcciones conectan la corteza prefrontal con los sistemas corticales sensoriales y motores, así como con regiones subcorticales implicadas en la motivación y la reactividad emocional. Podría decirse que la corteza prefrontal es algo así como el centro superior de control del cerebro, la oficina supervisora que está al tanto de la información procedente del exterior, del estado del propio cuerpo y de las acciones ordenadas por otras regiones cerebrales. Una oficina que a su vez emite órdenes a los demás sistemas cerebrales, estableciendo objetivos, administrando recursos, modulando el influjo de los sistemas subcorticales y, si es necesario, frenando en seco conductas que, de llevarse a término, podrían tener consecuencias indeseadas.

FIGURA 2
Corteza prefrontal

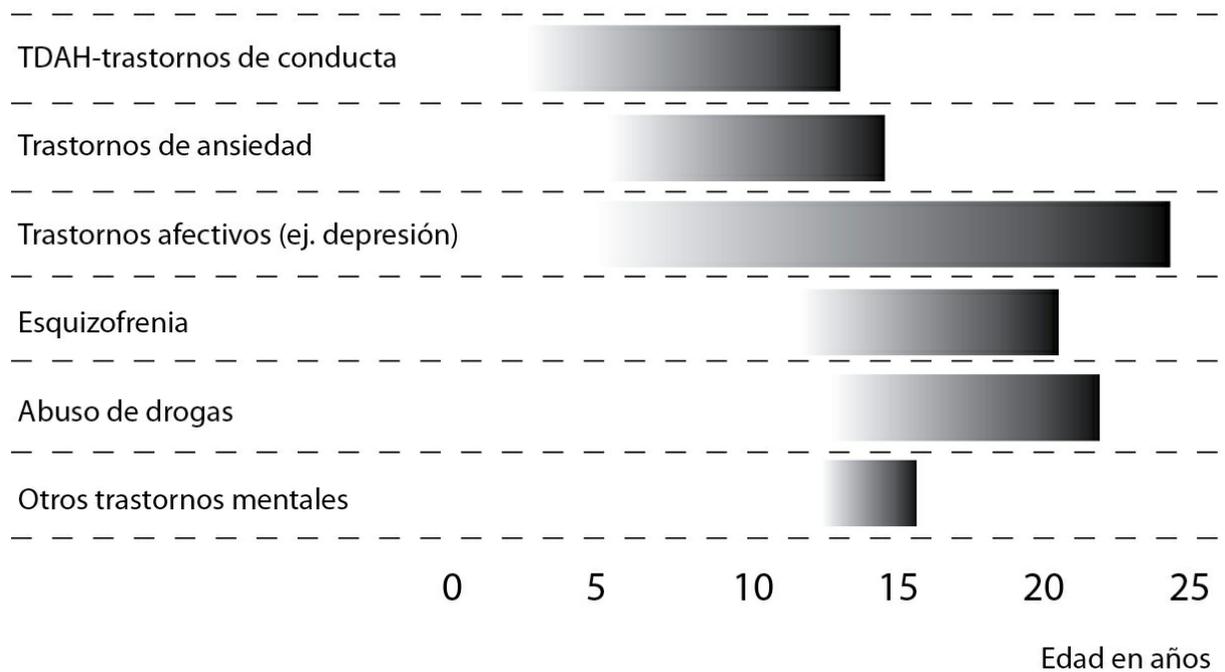


Divisiones de la corteza prefrontal. Los números se refieren a las áreas del mapa de Brodmann.

El conjunto de funciones dependientes de la corteza prefrontal coincide con las que usualmente se consideran funciones mentales superiores, aquellas que marcan la diferencia entre la mente humana y la de otras especies. El control de recursos mentales como la atención, la rememoración voluntaria de experiencias pasadas, la planificación de la conducta con vistas al futuro, la conciencia de nuestras emociones y nuestra mayor o menor capacidad para controlarlas; son todas ellas funciones dependientes de la integridad de la corteza prefrontal. Por ello, no es raro que las anomalías funcionales o estructurales de esta región cortical sean un rasgo común a muchos trastornos del desarrollo y enfermedades psiquiátricas. Si además tenemos en cuenta que la corteza prefrontal es la región cerebral que muestra un desarrollo más tardío, que no finaliza hasta entrada la veintena, tampoco sorprenderá que tenga un papel clave en el desarrollo cognitivo y socioemocional durante la adolescencia. Como último dato que cierra el círculo, la adolescencia es el momento del desarrollo en el que con más frecuencia aparecen los primeros signos de trastornos como la depresión, la psicosis, la adicción a drogas o los trastornos de ansiedad, que pueden, en muchos casos, prolongarse durante el

resto de la vida.

FIGURA 3
Aparición y momento crítico de distintos trastornos mentales durante la adolescencia



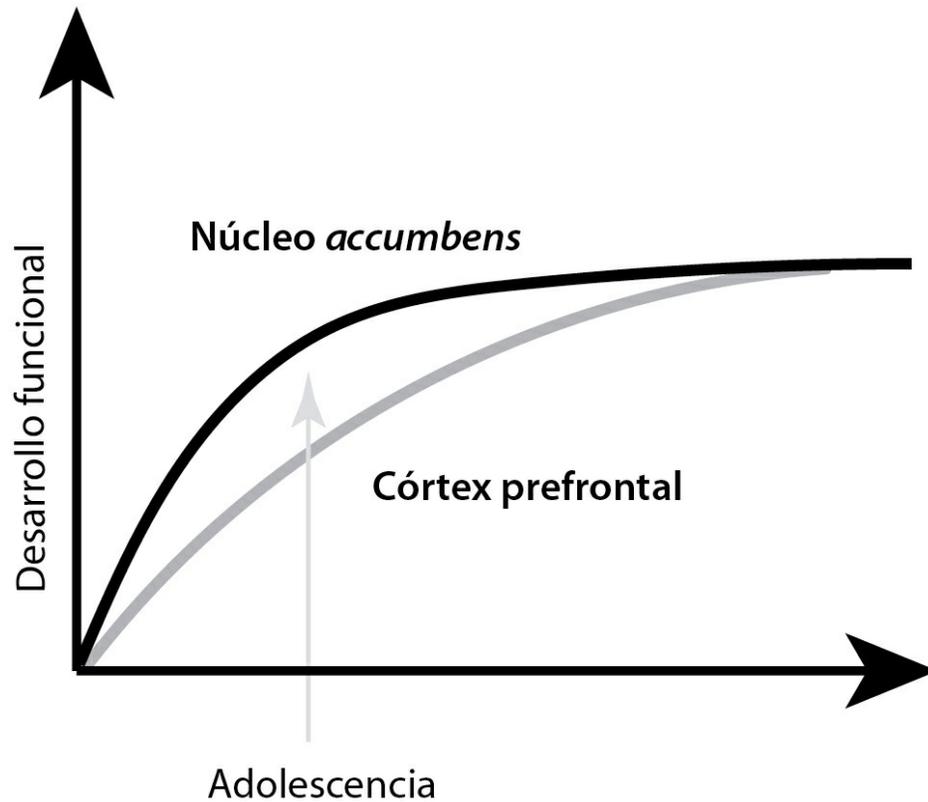
Basado en: Lee, F. S. *et al.* (2014). Adolescent mental health-opportunity and obligation. *Science*, 346(6209), pp. 547-549.

Numerosos estudios han demostrado el paralelismo entre el desarrollo de los sistemas prefrontales del cerebro y el perfeccionamiento de la memoria operativa y las capacidades de control ejecutivo. Estas facultades cognitivas no llegan a estabilizarse hasta una edad relativamente tardía, coincidiendo con el ritmo de desarrollo de los sistemas prefrontales. Por ejemplo, se ha demostrado que una capacidad frontal típica como la amplitud de la memoria operativa o de corto plazo, es decir, la cantidad de información reciente que podemos recordar en un momento dado, está directamente relacionada con el incremento del volumen de sustancia blanca en la corteza prefrontal.

Como saben perfectamente padres y educadores, la impulsividad, la escasa percepción de riesgo y la dificultad para controlar y regular las emociones son características frecuentes de la conducta adolescente. Junto a ello, la intensa

identificación con sus pares, con una atención casi exclusiva a sus hábitos y opiniones, hace que el adolescente sea especialmente vulnerable a la presión grupal y que la influencia del mundo adulto pase temporalmente a un plano secundario. Este perfil psicológico es consecuencia del estado de desarrollo del cerebro durante la adolescencia. Por una parte, el cerebro adolescente se caracteriza por una maduración aún incompleta de los sistemas prefrontales encargados de los procesos cognitivos más avanzados y de la regulación superior de instintos y emociones. Por otra, las regiones subcorticales de las que dependen las reacciones a los estímulos afectivos, la excitación emocional o la sensibilidad a la recompensa están plenamente desarrolladas, hallándose además sujetas a la influencia de los importantes cambios hormonales que tienen lugar durante la pubertad. Algunos especialistas han descrito esta situación recurriendo a la metáfora de un potente motor que se pone en marcha sin la guía de un conductor experimentado. Los sistemas subcorticales de la motivación y la emoción están en plena actividad sin el control de los sistemas prefrontales aún en desarrollo. Según esta metáfora, el desarrollo aún incompleto de las capacidades regulatorias propias del adulto impediría al adolescente controlar adecuadamente su conducta, dificultando el autocontrol y la regulación de motivos y emociones.

FIGURA 4



El desarrollo más tardío de los sistemas prefrontales del cerebro en comparación con el desarrollo más rápido de estructuras subcorticales como el núcleo *accumbens*, implicado en la motivación y los procesos de recompensa, puede explicar el comportamiento impulsivo característico de la adolescencia. Fuente: Casey, B. J., Getz, S. y Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28, pp. 62-77.

Varios estudios han demostrado que los sistemas subcorticales implicados en la reactividad emocional y los procesos de recompensa son especialmente sensibles durante la adolescencia. Regiones situadas en la zona ventral del cerebro e implicadas en procesos relacionados con la motivación y la emoción, como el núcleo *accumbens* o la amígdala, responden de forma más intensa en la adolescencia ante la presencia de estímulos dotados de carga emocional y son más sensibles a recompensas como el dinero o las drogas. Por el contrario, se ha observado que los adolescentes muestran un peor rendimiento que los adultos en tareas que requieren el uso de las funciones de control ejecutivo o el control voluntario de las emociones negativas, funciones todas ellas dependientes de la corteza prefrontal. La especial reactividad de los sistemas subcorticales, junto a un desarrollo aún incompleto de los sistemas prefrontales, podrían explicar aspectos de la conducta adolescente

como la mayor vulnerabilidad a los efectos del estrés, la mayor frecuencia de conductas de riesgo o la superior propensión al desarrollo de trastornos adictivos en la adolescencia.

Riesgos adolescentes

Conducción temeraria, consumo de alcohol y drogas o sexo sin precauciones son conductas que tienden a aparecer más frecuentemente durante la adolescencia, al menos en las sociedades más abiertas y liberales, que otorgan al adolescente una notable libertad para decidir y escapar al control adulto. Se diría que el adolescente tiene una deficiente percepción del riesgo y que esto aumenta la probabilidad de que tome decisiones potencialmente peligrosas con mucha más frecuencia que el adulto. En efecto, los adolescentes tienden a comportarse de forma más impulsiva y arriesgada en algunas tareas de laboratorio diseñadas para evaluar el autocontrol y la percepción del riesgo. Esta forma de actuar va acompañada de una inferior activación de los sistemas prefrontales implicados en el control de la conducta y la evaluación de sus consecuencias a largo plazo. Por otra parte, algunos estudios han demostrado que la probabilidad de decisiones impulsivas y la asunción de riesgos innecesarios aumenta notablemente cuando el adolescente está en compañía de sus pares. En uno de estos estudios, tres grupos de edad (13-16, 18-24 y mayores de 24 años) fueron comparados en un simulador de conducción en el que podían asumir riesgos como saltarse semáforos para así ganar más puntos. Los participantes en el estudio fueron probados en dos condiciones, solos o acompañados de compañeros de su edad. Los resultados fueron reveladores. Los adultos actuaban exactamente del mismo modo en ambas condiciones. En cambio, los jóvenes de la franja de edad de 18 a 24 años aumentaban notablemente sus conductas de riesgo en presencia de compañeros de su misma edad, un incremento que fue todavía mayor en el grupo de 13 a 16 años.

Un procedimiento frecuentemente empleado en los estudios sobre elección y toma de decisiones es la llamada tarea de cartas de Iowa. Se trata de una especie de juego de azar en el que el sujeto recibe inicialmente un préstamo de puntos o dinero ficticio (por ejemplo 2.000€). A continuación, en cada ensayo

sucesivo debe ir eligiendo una carta entre cuatro tacos diferentes, A, B, C y D. La finalidad: conseguir la máxima ganancia neta. Elegir cartas de los tacos A y B proporciona en cada intento una cantidad de dinero elevada (100€), pero de forma impredecible la mitad de las veces la elección va seguida además de una penalización elevada (250€). En cambio, elegir cartas de los tacos C y D proporciona una ganancia menor (50€) y también una menor penalización (50€). A la larga, la elección de los tacos A y B lleva a una pérdida neta, mientras que la elección de los tacos C y D resulta en una ganancia final. En una serie de estudios clásicos, el neuropsicólogo Antonio Damasio, flamante ganador del premio Príncipe de Asturias y autor de la famosa obra *El error de Descartes*³⁵, aplicó esta tarea a pacientes neuropsicológicos que por distintas causas mostraban lesiones en una región particular de la corteza prefrontal, denominada corteza prefrontal ventromedial. A diferencia de los controles sin daño cerebral, que acababan eligiendo sistemáticamente cartas de los tacos «seguros», los sujetos con lesiones prefrontales tendían a insistir en hacer elecciones arriesgadas que finalmente los llevaban a perder dinero. Es más, mientras que los controles mostraban reacciones fisiológicas típicas de una situación de «nervios» cuando iban a hacer una elección arriesgada, los sujetos con daño cerebral no parecían inmutarse al realizar sus elecciones arriesgadas. Este mismo resultado se ha observado en estudios con personas con trastornos adictivos, como la ludopatía o la adicción a drogas, una de cuyas características es precisamente la dificultad para superar la tentación de conseguir recompensas inmediatas y tomar decisiones basadas en sus posibles consecuencias a largo plazo.

La tarea de Iowa proporciona una herramienta ideal para poner a prueba la capacidad de tomar decisiones teniendo en cuenta sus consecuencias a corto y a largo plazo, una capacidad dependiente de la corteza prefrontal que debería por tanto mejorar en el curso del desarrollo desde la pubertad hasta la primera juventud y la edad adulta. En efecto, estudios con grupos de voluntarios de diferentes edades han demostrado que la probabilidad de hacer elecciones seguras en la tarea de Iowa va aumentando desde la pubertad hasta el final de la adolescencia. Aunque inicialmente todos los participantes se ven también atraídos hacia las elecciones que proporcionan mayor ganancia inmediata, los adolescentes de más edad se percatan al cabo de unos pocos ensayos de las

pérdidas que conllevan y prefieren elegir las cartas que resultan más ventajosas a largo plazo. Los participantes de menor edad, en cambio, persisten en su elección de opciones que a largo plazo les resultan perjudiciales. Este tipo de resultados confirman que entre los 13 y los 18 años y quizá hasta una edad superior, va perfeccionándose la capacidad para tomar decisiones en función de las consecuencias a largo plazo de la conducta, una manifestación de la facultad más general de autocontrol dependiente de los sistemas neuronales de la corteza prefrontal, que alcanzan su forma adulta durante la primera juventud.

7. Neurociencia y educación: ¿un puente demasiado largo?

Es indudable que durante las últimas décadas nuestro conocimiento sobre el funcionamiento del cerebro y su relación con la conducta y la cognición ha experimentado un avance sin precedentes. Sin embargo, también es preciso reconocer que ese avance no se ha reflejado en un impacto proporcional en ámbitos aplicados. Éste es claramente el caso del campo que de forma más natural quizá debería haberse beneficiado más de los avances de la neurociencia, el tratamiento de las enfermedades mentales. Esto es así a pesar de las continuas llamadas de sociedades científicas y agencias gubernamentales para fomentar la llamada «ciencia traslacional», es decir, la traducción de los hallazgos de laboratorio a intervenciones que mejoren la salud de las personas. Esta traducción es sin duda uno de los principales retos de la psicología y la neurociencia, aunque no parece probable que llegue a superarse en el futuro inmediato. Lo cierto es que, a pesar de la continua aparición de nuevos datos y teorías sobre los aspectos psicológicos y neurobiológicos de trastornos como la depresión o la esquizofrenia, el tratamiento de la enfermedad mental sigue fundamentándose en criterios diagnósticos cada vez más cuestionados y continúa teniendo un carácter básicamente paliativo. Tender puentes entre el laboratorio y la práctica clínica sigue siendo una difícil tarea.

Lo que se aplica a la relación entre la neurociencia y el tratamiento de la enfermedad mental vale igualmente, pero aumentado, para la relación entre

neurociencia y educación. Ya en un artículo publicado en 1997, el psicopedagogo John Bruer manifestaba su escepticismo respecto a la posible contribución de la neurociencia como guía para la práctica educativa y concluía que el puente entre estos dos campos era aún demasiado largo. Más recientemente, neurocientíficos y pedagogos han alertado de los peligros de la aceptación acrítica de programas y métodos educativos supuestamente fundamentados en la ciencia del cerebro, pero basados a menudo en creencias erróneas.

En este capítulo se han descrito algunas teorías y hallazgos de la psicología cognitiva y la neurociencia sobre cuestiones de indudable relevancia para la educación. Actualmente tenemos un conocimiento razonable del modo en que el cerebro se desarrolla durante las primeras décadas de la vida y de la forma en que aprende y es modificado por la experiencia. Igualmente, empezamos a comprender cómo la alteración de la normal trayectoria de desarrollo cerebral puede originar serias anomalías y deficiencias en el funcionamiento cognitivo y emocional del niño y el adolescente, dando lugar a trastornos que pueden prolongarse durante toda la vida adulta. La neurociencia cognitiva, además, nos ha proporcionado una caracterización de las distintas redes funcionales de la corteza cerebral y cada día surgen nuevos datos que nos permiten comprender cada vez mejor el carácter dinámico e interactivo de la actividad del cerebro al servicio de procesos cognitivos como la atención, la memoria o el uso y comprensión del lenguaje. Sin embargo, a la hora de identificar aspectos concretos de la práctica educativa que se hayan visto influidos de forma significativa por estos avances hay que reconocer que no abundan los ejemplos.

La escasa repercusión real y efectiva de la investigación neurocientífica en la práctica educativa contrasta con las proclamas más entusiastas de los adalides de la neuroeducación. Un problema importante es que ese entusiasmo ha llevado a muchos educadores a concebir falsas esperanzas en los poderes de la neurociencia, haciéndoles quizá esperar de ella lo que no puede dar. A pesar del avance de los conocimientos en dietética y de la abundante investigación sobre la fisiología de la alimentación y su control cerebral, sabemos que no existen dietas-milagro que permitan atajar de forma efectiva la obesidad o proporcionarnos una esbelta figura en unas pocas semanas. Sin

embargo, todos esos conocimientos sí permiten caracterizar lo que es una dieta sana, señalar los peligros de ciertos hábitos alimenticios y orientar sobre formas saludables de controlar la dieta. Del mismo modo es posible que, a pesar de sus indudables avances, la neurociencia no pueda darnos recetas simples para mejorar la educación, pero sí proporcionar conocimientos científicamente sólidos que permitan, al menos, comprender de una forma más racional y objetiva algunos de los problemas que surgen en el curso de la práctica educativa.

Una buena información sobre lo que la ciencia básica nos dice acerca de las causas y características de los trastornos del aprendizaje temprano es la mejor base para que padres y educadores puedan evaluar críticamente las propuestas para su tratamiento y abordaje en el hogar o en el aula. Del mismo modo, conocer las características del cerebro en desarrollo y el modo en que puede ser afectado por factores como la dieta o el estrés psicosocial puede ayudar a una mejor comprensión de las diferencias individuales en el aprendizaje y el rendimiento académico y a adoptar medidas compensatorias eficaces. Como último ejemplo de la posible aportación de la neurociencia a la educación, la abundante información actualmente disponible sobre los cambios que tienen lugar en el cerebro durante la adolescencia y el modo en que afectan a la conducta social y emocional puede proporcionar importantes claves para una formación que, más allá de las buenas palabras, logre fomentar adecuadamente valores morales y sociales. Estos objetivos pueden resultar modestos en comparación con las deslumbrantes promesas de los nuevos gurús de la neuroeducación, pero sin duda son mucho más realistas y constituyen una base más segura para el desarrollo de una práctica educativa menos voluntarista, más objetiva y mejor fundamentada científicamente.

²⁹ Platón (1999). *Diálogos, VIII. Leyes*, Madrid, Gredos.

³⁰ Klippel, M. (1898). La non-equivalence des deux hémisphères cérébraux. *Revue de la Psychiatrie*, pp. 52-57.

³¹ La cita está tomada de la entrevista aparecida en el diario *El País* el 22 de abril de 2011, con motivo de la presencia de Anne Moir en España para participar en la *I Jornada Internacional de Neuropedagogía*.

³² Hebb, D. O. (1985). *La organización de la conducta*. Madrid, Debate.

³³ En genética se habla de «fenotipo» para hacer referencia al conjunto de rasgos morfológicos, funcionales y conductuales de un individuo que son expresión de su genotipo en interacción con el ambiente. Desde el punto de vista psicológico, el término tiene un significado similar, pero referido específicamente al comportamiento, los rasgos de personalidad y los procesos cognitivos.

³⁴ El supuesto síndrome fue descrito inicialmente por la psicoterapeuta norteamericana Helen Irlen, quien ideó el método de los filtros de colores, que ha venido usándose durante años a pesar de la ausencia de evidencia sobre su efectividad.

³⁵ Damasio, A. (2011). *El error de Descartes*. Barcelona, Destino.

¿PODEMOS OLVIDAR LOS MALOS RECUERDOS? POR QUÉ FREUD SE EQUIVOCABA

Era todavía demasiado joven para saber que la memoria del corazón elimina los malos recuerdos y magnifica los buenos, y que gracias a ese artificio logramos sobrellevar el pasado.

Gabriel García Márquez, *El amor en los tiempos del cólera*³⁶

1. La memoria emocional

A través de los sentidos el cerebro recibe durante la vida despierta un continuo flujo de estimulación. Hechos de variable relevancia personal se mezclan con multitud de detalles intrascendentes que se suceden uno tras otro y que al ser procesados por nuestros sistemas sensoriales van conformando el continuo fluir de la conciencia. Cada instante de ese flujo configura nuestro presente inmediato que, sin embargo, sólo adquiere su sentido en el contexto del pasado reciente. Pero esto no quiere decir que el cerebro vaya grabando el discurrir de nuestras experiencias cotidianas como si fuese una cámara de vídeo, quedando el resultado guardado en la memoria, dispuesto para ser reproducido a voluntad. La mayor parte de la ingente masa de datos que de forma continua bombardean nuestros sentidos permanece sólo unos instantes en la conciencia para ser inmediatamente sustituida por la nueva información entrante sin dejar huella alguna. La memoria es forzosamente «selectiva», pero ¿cuáles son los criterios que determinan si los innumerables, pequeños o grandes sucesos de un día ordinario dejan o no una huella duradera en nuestra mente?

La emoción: un criterio para el recuerdo

Es un hecho probado que la emoción tiene un efecto facilitador sobre la formación de nuevos recuerdos. Los sucesos cargados de fuerza emocional se fijan eficazmente en la memoria y lo hacen a expensas del recuerdo de los hechos menos trascendentes y carentes de relevancia personal. El significado emocional, la relevancia personal de un suceso, la intensidad de la sensación experimentada, son factores esenciales a la hora de transformar las experiencias cotidianas en memoria duradera. No sólo recordamos más sucesos emocionales de nuestro pasado, sino que también los recordamos con mayor viveza y detalle que los que carecen de significado afectivo o personal. Este principio básico se ha demostrado en sencillos estudios de laboratorio en los que se pide a los participantes que recuerden listas de palabras o de imágenes en las que elementos afectivamente neutros se mezclan con otros de alto valor emocional. Por otra parte, el superior recuerdo de los elementos más emocionales de una lista va acompañado de una mayor dificultad para recordar los elementos adyacentes carentes de significado emocional. Este último resultado parece indicar que la potenciación del recuerdo de los estímulos emocionales tiene lugar a expensas de la capacidad para recordar los menos significativos.

El potente efecto del significado emocional sobre la memoria se observa también en el recuerdo de acontecimientos públicos sorprendentes por su dramatismo y por el impacto que producen en toda una sociedad. Acontecimientos como el atentado de las Torres Gemelas en Nueva York, el 11-M en Madrid o el intento de golpe de Estado del 23-F tienden a dejar recuerdos especialmente vívidos en la mente de quienes, a pesar de no haberlos presenciado directamente, los vivieron en el momento a través de los medios de comunicación o los informes y reacciones de otras personas. Estos recuerdos, verdaderos hitos de la memoria colectiva, son semejantes a la viva e intensa imagen de las fotografías tomadas con *flash*. Brown y Kulik, los psicólogos que describieron por vez primera este fenómeno en un artículo científico publicado en 1977, hablaron precisamente de «*flashes* de memoria» para referirse a los recuerdos dejados por esos fogonazos emocionales en la memoria colectiva.

Decimos a menudo que la memoria es selectiva y que recordamos sólo lo que nos apetece recordar. Según esta popular creencia, se esperaría que fuésemos capaces de recordar más hechos positivos que negativos de nuestro pasado. ¿Es esto cierto? En realidad, lo que revelan los estudios experimentales es que la influencia de la emoción sobre la memoria tiene que ver más con la excitación que nos produce un suceso, con la intensidad de la emoción experimentada, que con si ésta es positiva o negativa. Sin embargo, sí parece haber algunas diferencias entre el modo en que recordamos sucesos positivos y negativos. Los testigos de sucesos violentos suelen recordar con gran precisión los aspectos centrales de la escena, como el arma que llevaba el atacante, pero pueden no tener constancia alguna de otros detalles más secundarios. La atención focalizada en el elemento más llamativo e impactante favorece su recuerdo y al mismo tiempo impide el registro de todo lo que le rodea. Por el contrario, el recuerdo de hechos positivos se presta más fácilmente a la distorsión y a generar a pesar de ello una falsa sensación de realidad.

¿Es siempre bueno recordar?

El significado emocional y la intensidad de las experiencias vividas son los principales criterios que el cerebro emplea para seleccionar qué recuerdos se incorporarán de forma más eficaz y duradera a nuestra memoria. Lo que nos emociona, tanto en un sentido positivo como negativo, está casi siempre relacionado con las cosas que más nos importan, nuestra seguridad física, nuestra autoestima, la consecución de nuestras metas o la proximidad y seguridad de las personas que amamos. No es difícil comprender por qué la selección natural ha favorecido la supervivencia de los individuos que mejor se anticipan al peligro. Una memoria que favorezca el registro inmediato, fiel y duradero de anteriores experiencias adversas es de enorme ayuda para seguir vivo. Del mismo modo, el recuerdo eficaz de las señales que indican la proximidad de alimento, sexo o seguridad, es una apuesta segura para el futuro del individuo y de la especie. La facilitación emocional de la memoria es, según esto, un rasgo altamente adaptativo del diseño de nuestro cerebro. Pero

¿es siempre eficaz o incluso deseable?, ¿no hay recuerdos que desearíamos olvidar?, ¿no hay ocasiones en que la emoción producida por un acontecimiento traumático es tan intensa que altera el normal funcionamiento de la mente hasta el punto de bloquear su incorporación a la memoria? Para responder a estas preguntas tenemos primero que saber en qué medida podemos influir voluntariamente sobre nuestra memoria, decidiendo qué cosas recordaremos mejor y cuáles pasarán a un conveniente olvido. En segundo lugar, es necesario averiguar cuáles son exactamente los mecanismos implicados en la formación de recuerdos emocionales y si son cualitativamente diferentes de los que intervienen en la formación de los recuerdos no emocionales. Psicólogos, psicoterapeutas y neurocientíficos llevan mucho tiempo tratando de resolver estas cuestiones.

Dilucidar los mecanismos de la memoria emocional podría contribuir a una mejor comprensión y a un tratamiento más eficaz de trastornos emocionales graves, como la depresión o el estrés postraumático, que van normalmente acompañados de serios problemas de memoria. Precisamente debido al importante papel de la memoria emocional en muchos trastornos psicológicos y al enfrentamiento entre terapeutas que mantienen concepciones radicalmente opuestas sobre la enfermedad mental, la investigación sobre este tema se ha convertido en algunos casos en un verdadero campo de batalla. La manzana de la discordia ha sido la polémica acerca de los efectos de las experiencias traumáticas sobre la memoria. Las partes enfrentadas: de un lado, psicoterapeutas cuya práctica clínica se basa en las enseñanzas de Sigmund Freud, padre fundador del psicoanálisis; de otro, psicólogos e investigadores de la memoria con una orientación más científica y experimental y poco dispuestos, por tanto, a aceptar como verdadera ninguna hipótesis que no esté suficientemente confirmada.

2. La memoria en los tribunales

Durante la década de 1990 se produjo en los Estados Unidos un significativo aumento de demandas judiciales por abusos sexuales en el pasado. Muchas de estas demandas estaban basadas en un particular tipo de evidencia. Las

demandantes eran mayoritariamente mujeres entre 25 y 45 años que acusaban a padres o parientes cercanos de abusos perpetrados durante la infancia, basándose en un particular tipo de evidencia: Los recuerdos antes reprimidos que habían aflorado a su conciencia en el curso de un tratamiento psicoterapéutico. Las demandantes afirmaban no haber recordado durante años los abusos sufridos en su niñez, ni haber sido capaces de relacionar con ellos el malestar psicológico que las llevó finalmente a buscar ayuda profesional. En la mayoría de los casos se trataba de mujeres que decían haber sido víctima de abusos por parte de su padre, frecuentemente de forma continuada hasta una edad adulta. Aunque las víctimas afirmaban no haber recordado durante décadas nada de lo ocurrido, en el curso de la psicoterapia y mediante el uso de técnicas especiales, como la hipnosis, habían logrado recuperar los recuerdos previamente reprimidos y comprender finalmente los motivos de su malestar.

La cuestión de los recuerdos traumáticos recuperados durante la psicoterapia desató en su momento una agria polémica que en gran parte está aún por resolver y que puede calificarse como una verdadera «guerra de la memoria». Por desgracia, no se ha tratado sólo de una simple discusión entre especialistas que mantienen opiniones encontradas sobre su objeto de estudio. La sensibilidad hacia el grave problema de los abusos sexuales en la infancia junto con el enfrentamiento entre especialistas que sostienen concepciones opuestas acerca de la mente humana ha hecho que la polémica supere los límites de lo estrictamente profesional. En el curso de la discusión se han esgrimido argumentos morales y políticos que han puesto en duda la integridad y honestidad de científicos y psicoterapeutas. Aunque sin duda el precio más alto lo han pagado algunos pacientes y sus familias, que se han visto golpeadas por las consecuencias de graves acusaciones basadas las más de las veces en evidencias poco convincentes. El justificado rechazo social hacia los abusos sexuales en la infancia, la creencia cuasi-religiosa en concepciones pseudocientíficas de la mente humana y la atracción por prácticas terapéuticas poco usuales y de efectividad no probada, han compuesto un cóctel explosivo cuyos perniciosos efectos se prolongan hasta el momento actual.

Psicoterapeutas de orientación psicoanalítica y psicólogos especializados en el estudio científico de la memoria han mantenido posiciones encontradas

frente al espinoso tema de la memoria recuperada. Por una parte, los psicoterapeutas sostienen que la represión de recuerdos traumáticos, especialmente los relacionados con abusos sexuales, es un hecho demostrado por la experiencia clínica. Basándose en la doctrina freudiana, mantienen además que con el fin de aliviar el malestar psicológico del paciente es necesario hacer aflorar a su conciencia esos recuerdos reprimidos y que ello puede lograrse mediante técnicas especiales, como la hipnosis, la visualización guiada o la terapia de regresión, durante la cual el terapeuta acompaña al paciente en un viaje a su pasado infantil para hacerle revivir los acontecimientos presuntamente reprimidos. En el otro lado de la polémica, investigadores especializados en el estudio de la memoria alegan que no existe evidencia científica que corrobore la realidad de la represión como mecanismo de defensa de recuerdos traumáticos y que las supuestas terapias de recuperación de la memoria carecen de toda justificación. Es más, prestigiosos especialistas como la psicóloga Elizabeth Loftus, han sugerido que los recuerdos supuestamente recobrados en el curso de la psicoterapia podrían, en realidad, haber sido inducidos de forma inadvertida por el propio tratamiento. Éste sería un ejemplo del fenómeno conocido como «falsa memoria», en el que uno cree haber vivido sucesos que en realidad nunca ocurrieron.

Aparte de sus implicaciones para la práctica psicoterapéutica, la guerra sobre los recuerdos reprimidos ha dado origen a numerosas investigaciones destinadas a averiguar cuál es el efecto de las experiencias traumáticas sobre la memoria y qué recursos tiene realmente nuestra mente para protegerse de sus efectos potencialmente nocivos: ¿es la represión un mecanismo usual de defensa contra el recuerdo de sucesos que desearíamos olvidar?, ¿hasta qué punto podemos influir de forma voluntaria sobre nuestra memoria y decidir qué recordamos y qué olvidamos?, ¿podemos llegar a recordar erróneamente haber vivido una experiencia que jamás tuvimos?, ¿es posible olvidar durante años recuerdos de sucesos traumáticos de nuestro pasado?

3. Freud y la teoría de la represión

El empleo de técnicas terapéuticas destinadas a la recuperación de recuerdos se basa en el concepto freudiano de represión, que es, a su vez, una de las piedras angulares de la teoría psicoanalítica. Según esta teoría, la función de la represión es proteger a nuestro «yo» de pensamientos, conflictos, deseos o recuerdos que pueden resultar amenazantes, dolorosos o moralmente inaceptables, expulsándolos a las tinieblas del inconsciente. Aunque este proceso puede ser debido al esfuerzo deliberado de no pensar en lo que nos inquieta, la concepción psicoanalítica más usual considera la represión como un mecanismo inconsciente que escapa al control del sujeto. Un aspecto crucial de la teoría es que lo reprimido no se limita a dormir plácidamente en el inconsciente. Bien al contrario, los recuerdos reprimidos determinan la vida mental y pugnan por manifestarse de formas indirectas y simbólicas a través de sueños, lapsus, asociaciones inesperadas y, lo más importante, síntomas «neuróticos» como la ansiedad fóbica o las somatizaciones a través de las cuales el cuerpo expresa metafóricamente los conflictos inconscientes. De ahí que un elemento esencial de la terapia psicoanalítica sea interpretar el significado oculto de los síntomas y revelar al paciente el origen de sus conflictos. Es aquí donde algunos terapeutas han recurrido a tratamientos más o menos esotéricos para la recuperación de los recuerdos traumáticos. La cuestión no es sólo si estas terapias son eficaces, sino si los supuestos en que se basan tienen algún fundamento en la realidad de nuestro funcionamiento mental.

A pesar de que las ideas de Freud sobre la mente humana no se prestan fácilmente a comprobación empírica, algunos investigadores han intentado integrarlas en las teorías de la moderna psicología cognitiva y encontrar en el laboratorio evidencias que las apoyen. Las vicisitudes de este intento no son del interés exclusivo de científicos y especialistas. La amplia difusión y aceptación por el público general de las ideas de Freud ha favorecido la persistencia de prácticas terapéuticas de dudosa eficacia y que pueden llegar a tener consecuencias negativas tanto para el paciente como para los que le rodean. Las terapias orientadas a la recuperación de recuerdos traumáticos son un ejemplo de ello. Pero, más allá de las interpretaciones y deducciones más o menos fundadas de los psicoterapeutas, ¿existe alguna evidencia empírica de que la represión sea un mecanismo mental normal para el control de los

recuerdos traumáticos o indeseados? Y en un sentido más general, ¿hasta qué punto somos capaces de ejercer control sobre nuestra memoria, decidiendo qué recordar y qué echar al olvido?

Saul Rosenzweig fue el primer psicólogo que en la década de 1930 intentó verificar empíricamente la existencia de la represión mediante estudios controlados de laboratorio. Otros le siguieron después sin llegar a obtener resultados que apoyasen las tesis de Freud o que no pudiesen explicarse mediante mecanismos alternativos. El también psicólogo David Holmes, interesado por el tema, publicó en 1974 y 1990 sendos artículos en los que revisaba los resultados experimentales publicados hasta entonces sobre la represión, llegando a la conclusión de que éste era un concepto que debería abandonarse por carecer de todo apoyo empírico. Una publicación más reciente sobre el tema, aparecida en 2008, concluía que «el abandono del concepto de represión parece inevitable a la luz de la exhaustiva evaluación empírica presentada en este artículo». Sin embargo, es dudoso que conclusiones como éstas tengan algún efecto sobre la teoría o la práctica psicoanalíticas. Más que una teoría basada en evidencias, el psicoanálisis es un sistema autosuficiente que se rige por su propia lógica y que se confirma a sí misma sin necesidad de otra evidencia probatoria. Como muestra de esta peculiar actitud valga la respuesta que Freud dio a Rosenzweig cuando éste le informó de los resultados de sus investigaciones. Aun alabando su esfuerzo, Freud afirmó no dar mucho valor a los resultados, ya que la gran cantidad de observaciones fiables en que según él se basaban sus conclusiones sobre la represión las hacían «independientes de toda evidencia empírica».

En realidad, el problema con el concepto de represión en su sentido más habitual, es decir, como un mecanismo de defensa que actúa de forma inconsciente y que borra de la conciencia los recuerdos molestos, es que resulta prácticamente imposible de comprobar en la práctica. ¿Cómo demostrar la existencia de algo que por definición debe permanecer oculto? Por otra parte, los intentos de demostración en laboratorio siempre han estado limitados por el uso de situaciones experimentales que poco tienen que ver con las circunstancias que rodean a las experiencias traumáticas en la vida real. Éste es el bien conocido problema de la «validez ecológica», es decir, el grado en que una determinada situación experimental es representativa de la

situación o fenómeno real que pretende simular. Es obvio que ningún investigador va a ser tan desalmado como para someter a situaciones traumáticas a sus sujetos experimentales para después de unos años comprobar si las recuerdan o las han reprimido. Así, debido a la escasa validez ecológica de la mayoría de los procedimientos experimentales empleados para estudiar la represión, siempre podrá alegarse que los resultados con ellos obtenidos no permiten confirmar ni refutar la realidad del fenómeno. Quizá era esto lo que Freud tenía en mente al responder de modo tan displicente a los informes de Rosenzweig.

4. ¿Perdido y encontrado? El destino de los recuerdos traumáticos

La teoría de la represión de los recuerdos traumáticos choca frontalmente con la evidencia antes comentada acerca del efecto potenciador de la emoción sobre la memoria. Si incluso estímulos inofensivos como las palabras de una lista aprendida en el laboratorio se recuerdan mejor cuando tienen un significado emocional, ¿cómo es posible que el recuerdo de experiencias traumáticas pueda ser borrado tan fácilmente de nuestra memoria consciente? Es más, dado el bien conocido efecto de la repetición para consolidar los efectos del aprendizaje, ¿cómo se explica que, tal como afirman los defensores de la teoría de la represión, ésta sea especialmente probable cuando el hecho traumático tiene lugar de forma repetida?

Otro argumento que pone en duda la teoría de la represión procede de las observaciones clínicas de personas que desarrollan el llamado trastorno de estrés postraumático a consecuencia de la exposición a sucesos altamente impactantes en los que su propia integridad física o la de otras personas es puesta en serio peligro. Según el DSM-V (*Diagnostic and Statistical Manual*), principal manual de referencia internacional para la clasificación de los trastornos psiquiátricos, una característica de ese síndrome es la reaparición frecuente e involuntaria de recuerdos de la experiencia traumática que son difíciles de controlar y le producen a la persona un intenso malestar.

Estos recuerdos son a veces experimentados como *flashbacks*, evocaciones especialmente vívidas de la experiencia traumática que son provocadas por la exposición accidental a olores, sonidos o imágenes relacionados con ella y que usualmente van acompañadas de una intensa ansiedad y un elevado nivel de excitación fisiológica. Estudios llevados a cabo con víctimas de experiencias tan adversas como el confinamiento prolongado en un campo de concentración muestran que el olvido de los sucesos traumáticos, conocido como «amnesia disociativa», no es un hecho frecuente. Según esto, el problema no es que las experiencias traumáticas se olviden sino precisamente lo contrario, que se recuerdan demasiado bien. De hecho, el esfuerzo deliberado por evitar la rememoración de los sucesos desencadenantes y controlar así su potente efecto emocional es característico de las personas que desarrollan el trastorno de estrés postraumático.

Los defensores de la teoría de la represión citan a su favor los resultados de estudios retrospectivos con personas sobre las que hay evidencia documentada de haber sido expuestas a situaciones traumáticas en el pasado. Aunque algunos de los entrevistados en estos estudios dicen haber recobrado repentinamente la memoria después de un tiempo sin haber recordado el suceso traumático, la interpretación de esta observación es dudosa. Por ejemplo, en algunos casos el recuerdo recobrado correspondía a sucesos ocurridos a una edad tan temprana que es poco probable que pudiera haber sido inicialmente almacenado de forma duradera en la memoria. Debido a la inmadurez de los sistemas cerebrales encargados de la formación y consolidación de la memoria, no somos capaces de recordar sucesos que ocurrieron durante los primeros dos o tres años de vida, un fenómeno que se conoce como amnesia infantil. Por otra parte, el olvido puede ser más aparente que real y responder en realidad al deseo de apartar de la mente el recuerdo del suceso traumático o a la voluntad expresa de no reconocerlo, evitando manifestarlo abiertamente, algo fácilmente comprensible cuando se trata de materias tan sensibles como el abuso sexual infantil dentro de la propia familia. De acuerdo con esta posibilidad, algunos entrevistados que inicialmente dicen no recordar episodios verificados de abuso infantil acaban reconociéndolos en entrevistas posteriores. Aún más problemática es la interpretación de los resultados de estudios en los que no existe evidencia

independiente que permita corroborar la veracidad de los recuerdos traumáticos que los entrevistados dicen haber olvidado y recobrado posteriormente. Y aun admitiendo que en un número indeterminado de casos la amnesia del suceso traumático y su posterior recuperación sean reales, ello no significa necesariamente que su explicación se encuentre en el mecanismo de represión postulado por el psicoanálisis. Otras causas relacionadas con los procesos de olvido normal y con la recuperación de la memoria basada en claves asociadas son al menos igual de probables y más acordes con lo que sabemos acerca del funcionamiento de la memoria humana.

5. Recordar lo no vivido: el fenómeno de la falsa memoria

Nuestra memoria no es perfecta. El significado que generalmente damos a esta constatación es que la memoria nos falla por defecto. Olvidamos rápidamente y no recordamos con la facilidad y precisión que desearíamos. Pero ¿puede fallarnos la memoria por exceso? Sí, y al menos en dos sentidos. En su libro *Los siete pecados de la memoria*, el prestigioso investigador de la memoria Daniel Schachter repasa las imperfecciones de la memoria humana y menciona entre ellas dos que podemos considerar como pecados por exceso, la persistencia y la sugestionabilidad³⁷. Por el pecado de persistencia nuestro cerebro puede conservar de forma excesivamente eficaz la memoria de sucesos pasados que desearíamos olvidar. Una manifestación especialmente dramática de este pecado son los ya mencionados *flashbacks*, esas rememoraciones involuntarias y casi cinematográficas que acosan a las personas que sufren de estrés postraumático. Por el segundo pecado, la sugestionabilidad, podemos llegar a tener el convencimiento de haber vivido experiencias que nunca tuvimos. Comentarios casuales en el momento adecuado o la insistencia de alguien próximo en la realidad de un determinado suceso que nunca ocurrió pueden dar origen a falsos recuerdos. Elizabeth Loftus, una de las especialistas en memoria que con más ardor ha cuestionado la veracidad de los recuerdos recuperados en el curso de la psicoterapia, ha demostrado que es posible «implantar» en una persona falsos recuerdos utilizando medios relativamente simples.

¿Cómo se crea un falso recuerdo?

La exposición a información falsa es uno de los modos en que nuestros recuerdos pueden verse distorsionados. Datos falsos o que no se corresponden con nuestra experiencia de un determinado hecho, procedentes de los comentarios de otras personas o de noticias aparecidas en medios de comunicación, pueden así llegar a incorporarse a la memoria como hechos realmente vividos. En estudios de laboratorio se ha demostrado que también es posible modificar de este modo el recuerdo de hechos recientes, incorporando detalles falsos más o menos irrelevantes a los que terminamos dando el mismo crédito que a los verdaderos. Un factor que influye en la susceptibilidad a la información falsa parece ser la edad, siendo los niños y las personas de más edad quienes más se dejan influir por ella. Pero ¿es posible crear recuerdos totalmente nuevos, haciéndole creer a alguien que vivió un suceso que en realidad nunca ocurrió? La respuesta es de nuevo afirmativa. Loftus y otros investigadores de la memoria han llevado a cabo un buen número de estudios siguiendo un procedimiento consistente en describirle al sujeto varias experiencias infantiles que le hayan ocurrido realmente junto con una totalmente inventada. En entrevistas sucesivas en las que se les preguntaba por sus recuerdos infantiles, un cierto porcentaje de sujetos (alrededor del 30%) se mostraba convencido de haber vivido no sólo los sucesos reales sino también el inventado. La creación de estos falsos recuerdos no es un proceso inmediato y requiere un nivel considerable de sugestión mediante la cuidadosa presentación de información falsa que poco a poco va convenciendo al sujeto de la realidad del recuerdo implantado. De este modo se ha logrado crear experimentalmente recuerdos de experiencias infantiles no triviales, como haberse perdido en un centro comercial, haber sido víctima del ataque de un animal o haber estado a punto de ahogarse siendo finalmente rescatado por un socorrista.

Pero... ¿funciona?

El fenómeno de falsa memoria demuestra bien a las claras la maleabilidad de la memoria humana. Esta característica de nuestra memoria tiene importantes implicaciones en contextos profesionales en los que deben tomarse decisiones trascendentes basadas en lo que la gente dice recordar de un determinado suceso, como ocurre con los informes de testigos oculares de crímenes o delitos de distinto tipo que se toman como evidencia para dictar sentencias judiciales. Basándose en sus estudios sobre falsa memoria, Loftus y otros investigadores de la memoria han prevenido de los riesgos que en estos casos podemos correr al confiar en exceso en la precisión y veracidad de nuestra memoria. En el caso de los recuerdos traumáticos recuperados que aquí nos ocupa, el peligro es que los recuerdos supuestamente reales sean en realidad un ejemplo de falsa memoria. De forma involuntaria, los comentarios, sugerencias e interpretaciones del terapeuta, hechas en un contexto clínico orientado a la búsqueda de causas ocultas que expliquen los conflictos del paciente, podrían llevar a éste al convencimiento de haber sido víctima de abusos o experiencias traumáticas que en realidad nunca ocurrieron. En ausencia de evidencia independiente que corrobore la veracidad de los recuerdos aparentemente recobrados en el curso de la psicoterapia, esta hipótesis es al menos tan defendible como la de la recuperación de recuerdos reprimidos. La hipótesis no es descabellada, porque hay indicios de que algunas de las técnicas empleadas para desenterrar recuerdos reprimidos, como la hipnosis, la regresión o las técnicas de visualización o imaginación guiada pueden ejercer un fuerte efecto de sugestión sobre los pacientes y por tanto favorecer la creación de falsos recuerdos

Recuperar durante la terapia un supuesto recuerdo reprimido puede darle al paciente la reconfortante sensación de que sus problemas tienen una explicación, de que el terapeuta ha logrado ensamblar las piezas de su rompecabezas mental. Pero, aparte de resolver su incertidumbre proporcionándole una explicación más o menos convincente de sus problemas, ¿resuelven los conflictos del paciente?, ¿alivian su sufrimiento? En definitiva, ¿son los beneficios de las terapias de recuperación superiores al posible daño producido al desenterrar recuerdos dolorosos cuya veracidad es difícilmente comprobable? Lo cierto es que la efectividad real de estas terapias es desconocida. En cambio, sí son conocidas las serias y negativas

consecuencias que sobre el entorno del paciente ha tenido en algunos casos la recuperación durante la terapia de supuestos recuerdos reprimidos y no debidamente corroborados. Basándose en el fenómeno de la falsa memoria y en la dudosa eficacia terapéutica de estas técnicas, psicoterapeutas y asociaciones profesionales de reconocida solvencia han advertido de los riesgos potenciales de las terapias de recuperación de la memoria y han recomendado especial precaución en caso de ser aplicadas.

Las terapias de recuperación de la memoria se basan en la creencia de que rastrear el pasado del paciente con el objeto de llegar al conocimiento de las causas inconscientes de sus conflictos actuales es un elemento esencial para su resolución y, por tanto, parte indispensable del tratamiento. Sin embargo, nadie ha demostrado que este supuesto sea correcto y que las terapias basadas en la indagación del pasado tengan efectos superiores a los de otros enfoques terapéuticos centrados en la descripción y el análisis objetivo de los conflictos y dificultades presentes del paciente. Como se expresaba en una publicación sobre este tema, la aproximación a la psicoterapia desde el análisis del pasado «ha demostrado ser más eficaz para crear conversos que para curar»³⁸. Obviamente, lo dicho no supone en modo alguno dejar de reconocer el impacto potencial de las experiencias traumáticas y la dolorosa realidad del problema de los abusos sexuales en la infancia y sus efectos potencialmente devastadores sobre la salud mental de quien los ha sufrido. Al contrario, se trata de abordar este grave problema desde una perspectiva lo más racional y objetiva posible, basada en los conocimientos aceptados mayoritariamente por la comunidad científica y en el empleo de procedimientos terapéuticos de eficacia contrastada.

6. Olvidar a propósito

Los psicólogos utilizan el concepto de «evitación cognitiva» para referirse al intento deliberado de mantener alejados de la conciencia recuerdos desagradables o incómodos mediante el simple recurso de no pensar en ellos. No se trata de la represión freudiana con sus alambicados mecanismos inconscientes, sino de un recurso común que todos empleamos en algún

momento cuando deseamos apartar de nuestra mente el recuerdo de sucesos molestos o postergar el afrontamiento de conflictos difíciles de resolver. Todos sentimos esta necesidad en algún momento, a veces con especial intensidad, como cuando tratamos de aplacar el dolor que experimentamos al volver a un lugar asociado al recuerdo de un ser querido que ya no está a nuestro lado. La necesidad es aún más apremiante cuando se ha vivido una experiencia traumática cuyo recuerdo nos acecha constantemente, entrometiéndose en nuestra conciencia una y otra vez. Como expresa gráficamente Michael Anderson, uno de los principales especialistas en el tema, en estos casos «olvidar es una meta, recordar, una debilidad». Pero ¿hasta qué punto son eficaces esos intentos de olvido voluntario?, ¿de qué mecanismos mentales depende esa capacidad? Algunas investigaciones recientes indican que esas particulares estratagemas de autoengaño no son del todo inútiles. Es más, estudios llevados a cabo con personas que han vivido experiencias traumáticas sugieren que los intentos deliberados de olvidar son un mecanismo protector más frecuente (y más fácilmente demostrable) que la represión al modo freudiano.

Métodos para el olvido

El procedimiento que se ha empleado para estudiar en laboratorio los efectos del olvido voluntario es bien sencillo. En primer lugar, se le pide al sujeto que memorice una serie de palabras emparejadas arbitrariamente como «bandera-espada» o «suplicio-roca», de forma que cuando posteriormente se le nombre la primera (llamémosla palabra «clave») sea capaz de responder rápidamente con la segunda (la palabra «respuesta»). En esta prueba de recuerdo se van presentando una a una las palabras clave de cada par, pero mientras que unas veces se le pide al sujeto que dé la respuesta correspondiente (por ejemplo, «espada» si la palabra presentada es «bandera»), otras se le dice que no responda y que intente no pensar siquiera en la palabra asociada. Seguir estas instrucciones implica emplear un mecanismo mental inhibitorio similar al que empleamos en la vida diaria cuando intentamos apartar de nuestra mente algún pensamiento o recuerdo inconveniente. Parece muy simple... pero funciona. Si

en una última prueba se le pide al sujeto responder a todas las palabras clave, el resultado usual es un recuerdo significativamente inferior de las respuestas que antes se le pidió que inhibiese. Podríamos pensar que quizá todos los sujetos recuerdan todas las palabras por igual, pero que algunos dicen no recordar aquellas que antes se les pidió que inhibieran porque suponen que eso es lo que se espera de ellos. Falso. El resultado es el mismo incluso si en la prueba final se insiste en que deben tratar de responder a todas las palabras clave e incluso se informa a los sujetos de que se les pagará un dinero proporcional a sus aciertos. ¡No es probable que los sujetos sigan fingiendo no recordar y se sacrifiquen por un experimentador al que probablemente no conocen de nada! Otro dato interesante: repetir varias veces la práctica de la inhibición incrementa el olvido, como si a cada intento de no pensar en una palabra su recuerdo se debilitase un poco más. Finalmente, algunos estudios indican que estos efectos son más potentes, es decir, que el olvido es mayor, cuando la información que se intenta olvidar tiene un significado emocional.

Michael Anderson, que ha realizado un buen número de estudios con diversas variantes del procedimiento recién descrito, cree que los mecanismos inhibitorios requeridos para «no pensar» en algo son similares a los que empleamos para controlar nuestro comportamiento y evitar realizar conductas altamente probables pero que no resultan apropiadas a las circunstancias actuales. Los psicólogos llaman «respuestas prepotentes» a estas conductas que son provocadas de forma casi automática pero que debemos esforzarnos por inhibir si no queremos salir mal parados de la situación. Morderse la lengua y no replicar a un superior que hace una observación injusta sobre nuestro trabajo es un ejemplo de este tipo de esfuerzos. La inhibición de esas respuestas prepotentes requiere un ejercicio de autocontrol, una puesta en práctica de nuestra capacidad para inhibir la satisfacción inmediata de un deseo, de responder agresivamente o ceder a una tentación que puede resultar perjudicial a largo plazo.

¿No hacer igual a no pensar?

Los mecanismos inhibitorios que entran en juego cuando tratamos de inhibir

respuestas prepotentes forman parte de un conjunto más amplio de capacidades conocidas con el nombre de funciones ejecutivas o control ejecutivo, una de las facultades más avanzadas y complejas de la mente humana. Mediante esta facultad somos capaces no sólo de adaptar flexiblemente nuestra conducta a las demandas cambiantes del entorno, sino también de administrar eficazmente recursos valiosos como la atención o la memoria. El olvido voluntario podría, en realidad, ser una manifestación más de nuestras facultades de control ejecutivo. Inhibir o detener la ejecución de una conducta inapropiada e intentar olvidar algo que no nos conviene son tareas que requieren un esfuerzo deliberado y la capacidad para realizarlo parece depender de los mismos recursos mentales. Esta conclusión es coherente con la observación de que la capacidad de inhibir recuerdos indeseados se ve reducida en personas con diagnóstico de depresión, un trastorno que afecta, entre otras, a las facultades de control ejecutivo. Del mismo modo, el deterioro cognitivo normal asociado al envejecimiento, que también disminuye las capacidades ejecutivas, vuelve menos eficaces los intentos voluntarios de controlar qué recordamos y qué echamos al olvido.

La semejanza entre los procesos que permiten la inhibición de la conducta y el control de la memoria ha sido corroborada en estudios recientes de neuroimagen. Estos estudios muestran que esos procesos requieren la intervención de redes neuronales localizadas en la corteza prefrontal. Se ha observado un similar incremento de la actividad de las redes prefrontales de control ejecutivo tanto cuando una persona intenta inhibir un hábito automatizado como cuando hace esfuerzos deliberados por suprimir un determinado recuerdo. Dicho de otro modo, para el cerebro intentar «no hacer» es parecido a intentar «no pensar». Pero ¿cómo operan exactamente los sistemas prefrontales en estas ocasiones? El control ejecutivo es posible gracias a las vías nerviosas que conectan el córtex prefrontal con otras áreas del cerebro, tanto de la propia corteza como de sistemas subcorticales implicados en funciones como la memoria, el control de los hábitos motores o la reactividad emocional. La corteza prefrontal interviene cuando una conducta apropiada contextualmente (responder educadamente a los comentarios injustamente críticos de un superior en el trabajo) entra en competencia con otra que se nos impone de forma casi irrefrenable (contestarle como se

merece). En estos casos, la función de la corteza prefrontal es la de frenar en seco la respuesta menos conveniente a largo plazo, enviando órdenes inhibitorias a los sistemas cerebrales de los que depende su ejecución. Esta función se ha demostrado de forma bien convincente en estudios con monos en los que la estimulación artificial de puntos concretos de la corteza prefrontal resulta en la interrupción instantánea de una conducta ya iniciada.

El poder inhibitorio de la corteza prefrontal no se limita a los sistemas encargados de la generación de la conducta. Este poder se extiende también a otros sistemas cerebrales relacionados con la memoria y la emoción, como son el hipocampo y la amígdala. La función del hipocampo en la formación de nuevos recuerdos es conocida desde hace tiempo, gracias fundamentalmente al estudio de personas que muestran graves problemas de amnesia debido a la lesión o extirpación quirúrgica de esta zona del cerebro. Investigaciones recientes han demostrado que cuando una persona hace un esfuerzo deliberado por evitar o suprimir un determinado recuerdo aumenta la actividad neuronal en la corteza prefrontal y se reduce en el hipocampo. Además, los estudios de neuroimagen han demostrado que cuando tratamos de controlar o suprimir voluntariamente un recuerdo desagradable el incremento de actividad prefrontal va acompañado de una reducción de la actividad en la amígdala. Es bien sabido que la amígdala tiene un papel esencial en múltiples procesos relacionados con la emoción, entre ellos la consolidación de los recuerdos de experiencias aversivas y de peligro. Según esto, podemos concluir que la función de la corteza prefrontal cuando intentamos ejercer un control voluntario sobre la memoria es la de evitar la reactivación de los recuerdos mediante la inhibición de los sistemas que intervienen en su formación y recuperación. Cuando se trata de controlar recuerdos negativos, es muy probable que esa inhibición se dirija selectivamente hacia la amígdala.

Las demostraciones de laboratorio indican que es posible ejercer un cierto control sobre qué queremos y qué no queremos recordar, pero no que ese control sea total ni que todos tengamos la misma capacidad para ejercerlo en todo momento. Del mismo modo que existen grandes diferencias individuales en la capacidad de ejercer el autocontrol y evitar caer en tentaciones peligrosas, las personas diferimos también en la medida en que somos capaces de controlar nuestros pensamientos y dar con trucos que nos permitan alejar de

la conciencia los recuerdos no deseados. Por otra parte, los efectos de olvido voluntario observados en condiciones de laboratorio se han obtenido con materiales de escasa relevancia personal. Aunque está claro que los intentos de olvido voluntario forman parte de la actividad mental normal, simplemente no sabemos cuál es su eficacia cuando tratamos de luchar contra recuerdos incómodos o conflictivos de nuestra vida real. Y mucho menos podemos concluir que las demostraciones experimentales de olvido voluntario apoyen la concepción psicoanalítica de la represión entendida como mecanismo de defensa casi automático mediante el que la mente se defiende de recuerdos potencialmente dañinos. Más bien al contrario, lo que estos estudios indican es que la supresión voluntaria de un recuerdo, aunque sea inofensivo, exige un esfuerzo consciente y deliberado por «no pensar» y que incluso en este caso la eficacia de esa supresión es solo parcial.

7. Hipocampo y amígdala: dos formas de recordar la emoción

Aprendizaje emocional

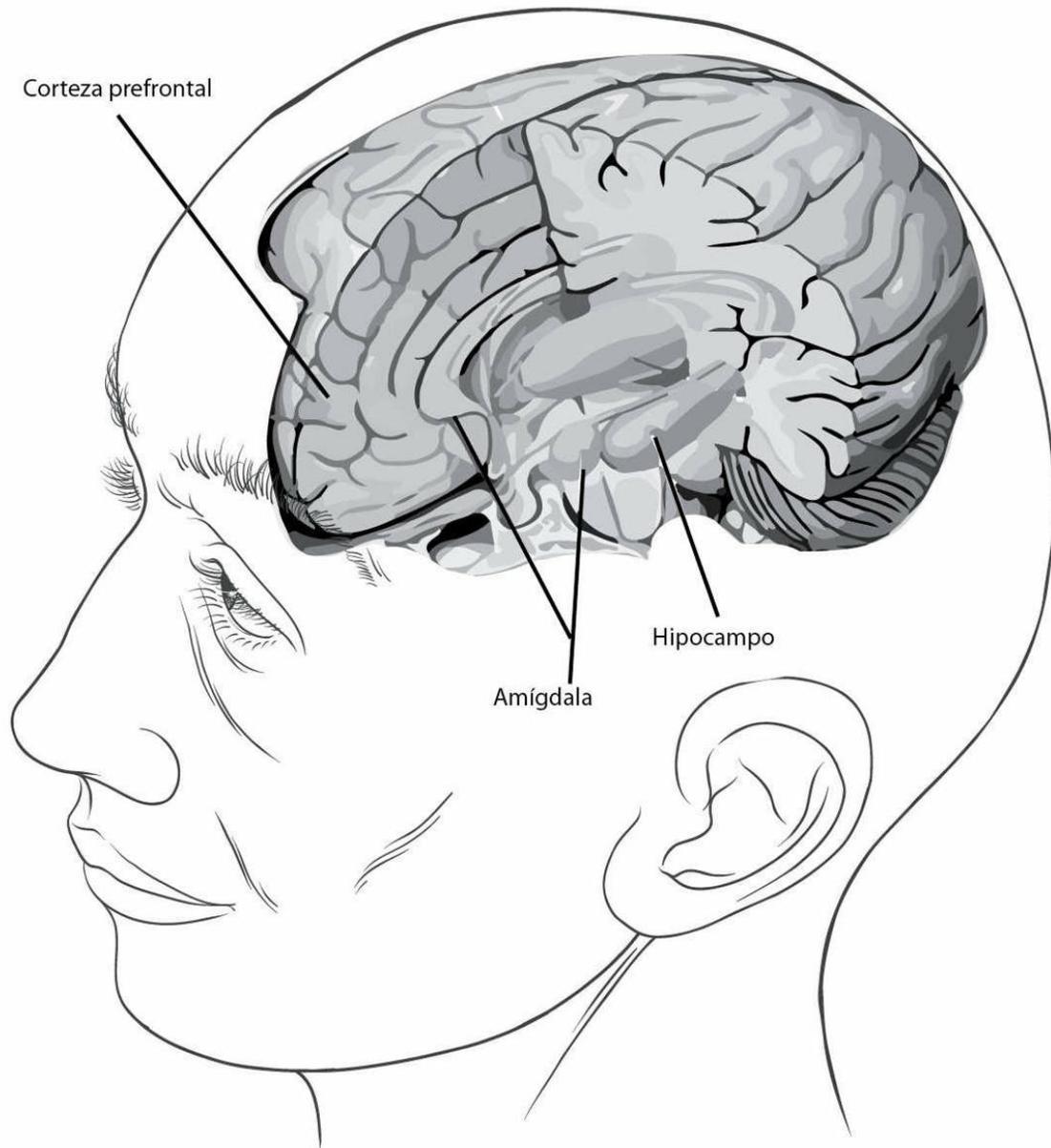
Para entender el modo en que el cerebro lleva el registro de nuestras experiencias emocionales es preciso referirse de nuevo al papel del hipocampo y de la amígdala en la formación de la memoria. Ambas se hallan situadas en la cara interna de los lóbulos temporales, hacia la línea media del cerebro. Hipocampo y amígdala están unidas por conexiones que permiten la comunicación en una y otra dirección. La amígdala es una pequeña estructura de forma almendrada (de ahí su nombre) compuesta de varios núcleos con funciones diferenciadas y con un papel fundamental en algunos aspectos básicos de nuestra vida emocional. El reconocimiento inmediato de señales de amenaza o peligro y el aprendizaje de asociaciones que nos permiten anticipar sucesos potencialmente importantes en nuestro entorno son algunas de sus funciones. Si una noche somos asaltados por un ladrón escondido en el portal, es probable que al menos durante un tiempo evitemos volver tarde a casa y

sintamos un intenso miedo al abrir la puerta. El portal ha quedado asociado en nuestra mente a la desagradable experiencia del asalto y debido a ello nuestro cuerpo entra en estado de alerta en cuanto el cerebro identifica los estímulos correspondientes: la puerta, el sonido de la cerradura, las luces del portal, un leve chirrido de origen desconocido... La amígdala es precisamente el lugar en que se forman esas asociaciones y también el sistema encargado de dar la señal de alarma y poner el cuerpo en guardia frente al posible peligro. El corazón se acelera, la respiración se entrecorta y los músculos se ponen en tensión hasta que entramos en el portal y comprobamos que todo está tranquilo.

La amígdala funciona en parte como un sistema de aprendizaje emocional que permite la formación de recuerdos asociativos relativamente simples (el portal significa «peligro») pero notablemente eficaces y duraderos. En cambio, el hipocampo es necesario para formar un recuerdo más descriptivo y contextualizado (eran las tres de la madrugada, venía de una cena de empresa, el asaltante me amenazó con una navaja...). Para la amígdala, un relato pormenorizado de la situación no es necesario. En realidad, puede llevar a cabo la misión de hacernos sentir el peligro potencial y ponernos en estado de alerta antes de que tengamos plena conciencia de la situación. En términos de las actuales teorías de la memoria, los recuerdos que se forman con ayuda del hipocampo pertenecen a la memoria explícita y consciente. Son recuerdos que podemos describir de forma más o menos objetiva y que pueden ser recobrados a voluntad. En cambio, los recuerdos emocionales dependientes de la amígdala pertenecen a la memoria implícita e inconsciente y tienen la forma de asociaciones emocionales que se activan rápidamente en presencia de los estímulos adecuados, dando origen de modo automático y difícilmente controlable a la reacción emocional apropiada. Pero tanto los recuerdos relativamente poco elaborados de la amígdala como los más detallados del hipocampo se refieren a un mismo suceso.

FIGURA 1

Cerebro y memoria emocional



Sistemas cerebrales que intervienen en la formación y control de la memoria emocional. Hipocampo y amígdala intervienen, respectivamente, en la formación de los recuerdos explícitos e implícitos de las experiencias emocionales. Las conexiones que unen la corteza prefrontal con estas estructuras cerebrales permiten el control e inhibición voluntaria de la memoria.

¿Emociones sin conciencia?

La doble codificación basada en la actividad complementaria de la amígdala y el hipocampo es una característica común de los recuerdos emocionales.

Simplificando mucho, podríamos decir que el hipocampo proporciona la información y la amígdala la emoción. Aunque normalmente trabajan de forma coordinada, estos sistemas pueden a veces funcionar de modo independiente, como se ha demostrado en estudios con pacientes neurológicos que presentan daño selectivo en la amígdala o el hipocampo. Cuando estos pacientes aprenden en el laboratorio nuevas asociaciones emocionales se obtienen unos resultados bien llamativos. En un estudio clásico que demuestra la disociación entre los aspectos explícitos e implícitos de la memoria, se midió la respuesta emocional, dependiente del aprendizaje amigdalal, a través de índices psicofisiológicos típicos de una situación de ansiedad, como el incremento de la sudoración de la piel. La memoria hipocampal, por otra parte, se evaluó mediante preguntas directas que tenían por objeto averiguar el detalle con que los sujetos recordaban el procedimiento experimental. Aunque los pacientes con lesiones hipocampales mostraron una intensa activación emocional ante las señales que habían aprendido a asociar con un estímulo desagradable (un fuerte ruido presentado a través de unos auriculares), recordaban poco del procedimiento al que habían sido expuestos. Por otra parte, los pacientes con lesión amigdalal no mostraron activación alguna ante las señales de peligro a pesar de que sí recordaban que anteriormente se habían asociado al ruido desagradable. Como era de esperar, los sujetos de control manifestaron activación emocional y también pudieron describir verbalmente la anterior experiencia de aprendizaje. Dicho de otro modo, sólo estos sujetos mostraron memoria explícita e implícita de la experiencia previa de aprendizaje. En cambio, en los sujetos con lesión cerebral se observó una clara disociación entre estas dos formas de memoria. Los resultados de este estudio muestran claramente que la memoria emocional puede operar sin la ayuda del conocimiento consciente y, al revés, que el conocimiento consciente puede quedar disociado de la reactividad emocional.

La disociación entre los aspectos explícitos e implícitos de la memoria emocional no es un fenómeno que se observe sólo en personas con daño cerebral. Situaciones que dan origen a una elevada activación emocional y patologías como la ansiedad crónica y el estrés postraumático pueden igualmente producir una disociación entre la respuesta emocional y el conocimiento consciente. En estos casos, la emoción queda parcialmente

desligada del conocimiento consciente y la persona se ve reaccionando intensamente ante una situación que no puede explicarse de forma racional. Sven Christianson, un reconocido especialista en el estudio de la memoria traumática, describe el caso de una mujer que desarrolló estrés postraumático después de ser víctima de una brutal violación. A pesar de no reconocer algunos de los estímulos asociados al lugar en que fue violada, manifestaba los síntomas físicos típicos de la activación emocional ante estímulos similares, una reacción que puede explicarse por la activación del recuerdo asociativo registrado en la amígdala en ausencia de un registro consciente de las circunstancias de la violación.

Además de su función en el aprendizaje emocional, la amígdala desempeña un papel fundamental en el efecto potenciador de la emoción sobre la memoria. Sabemos, por una parte, que la intensidad de la activación de la amígdala cuando presenciamos un suceso emocionalmente significativo permite predecir lo bien que lo recordaremos posteriormente: a mayor activación, mejor recuerdo. No ocurre así si el suceso no tiene ningún significado emocional, lo que indica que el papel de la amígdala es precisamente el de garantizar que el recuerdo de los hechos personalmente más relevantes quede fielmente registrado en la memoria. Este efecto potenciador parece deberse a la acción moduladora de la amígdala sobre el hipocampo, la estructura cerebral que se ocupa de la formación de los recuerdos explícitos y conscientes. En resumen, el papel de la amígdala en la formación de recuerdos emocionales es doble. Por una parte, se encarga del registro de los aspectos asociativos más elementales del suceso emocional; por otra, instruye al hipocampo y a otros sistemas cerebrales para que formen recuerdos más elaborados del suceso que incluyan mayor detalle e información contextual.

8. Hormonas para la memoria, un arma de doble filo

La respuesta fisiológica de estrés es un complejo conjunto de cambios que afecta prácticamente todos los sistemas del organismo y que se produce ante situaciones emocionales que demandan una respuesta rápida, enérgica y eficaz.

La función de esos cambios es precisamente la de movilizar todas nuestras energías físicas y mentales con el objeto de afrontar la situación del modo más eficaz. Menos conocido quizá es que una de las funciones de la respuesta de estrés es favorecer la formación de recuerdos emocionales. Esta función se ejerce por medio de dos hormonas, la adrenalina y el cortisol, ambas segregadas por las glándulas suprarrenales. De modo directo o indirecto, estas hormonas modulan la actividad de la amígdala y del hipocampo, favoreciendo la consolidación de los distintos aspectos de los recuerdos emocionales.

Un gran número de investigaciones realizadas tanto con animales como con seres humanos han demostrado que la administración experimental de adrenalina poco después de la exposición a estímulos emocionales favorece su posterior recuerdo. Por el contrario, los fármacos que contrarrestan la acción de la adrenalina anulan los efectos de potenciación emocional de la memoria. La adrenalina ejerce estos efectos de modo indirecto, ya que no cruza la barrera hematoencefálica y, por tanto, no llega a penetrar en el cerebro. Sin embargo, a través de varios pasos intermedios que implican a diversas vías y sistemas cerebrales, la adrenalina incrementa finalmente la actividad de la amígdala, favoreciendo así la formación del recuerdo emocional. El cortisol, en cambio, penetra con facilidad en el cerebro y cuando es segregado en situaciones de estrés sus moléculas se acoplan a receptores específicos localizados en la amígdala, promoviendo igualmente la consolidación de la memoria emocional.

La regulación hormonal de la memoria emocional tiene una indudable función adaptativa al marcar eficazmente en la memoria el recuerdo de acontecimientos dotados de un potente significado afectivo. Sin embargo, las hormonas características de la respuesta de estrés pueden también tener efectos adversos. Esto es lo que puede ocurrir cuando nos vemos sometidos de forma continuada a una situación generadora de tensión. Conflictos de pareja, problemas laborales, pobreza, situaciones de guerra o agitación social continuada son posibles desencadenantes de reacciones de estrés que se prolongan en el tiempo. El estrés crónico lleva consigo un desajuste de los mecanismos protectores con que la mente y el cuerpo reaccionan al peligro. La alteración de la función cardiovascular y digestiva, la inhibición de la actividad del sistema inmune y la interferencia con los procesos cognitivos

son algunos de sus efectos, debidos en gran parte a la hiperactividad continuada de los sistemas hormonales implicados en la respuesta natural de estrés. De especial relevancia es el incremento crónico de los niveles de cortisol. Esta hormona regula la formación de recuerdos emocionales mediante su acción sobre los receptores localizados en el hipocampo. Cuando sus niveles aumentan temporalmente como respuesta a una situación adversa transitoria, su acción sobre el hipocampo favorece la formación de la memoria emocional. Sin embargo, este mecanismo adaptativo puede verse trastocado en condiciones de estrés continuado o incluso por la exposición a una única experiencia traumática especialmente intensa.

Una respuesta hormonal anormalmente elevada o prolongada en el tiempo puede hacer que el cortisol ataque a las neuronas hipocampales y produzca su atrofia. De hecho, diversos estudios han mostrado una reducción del volumen del hipocampo en personas con diagnóstico de depresión o estrés postraumático, efectos que podrían deberse a la acción tóxica del cortisol. Estudios con mujeres víctimas de abusos sexuales y excombatientes en la guerra de Vietnam han reportado reducciones del volumen hipocampal que oscilan entre el 7% y el 26%. Cuando esto ocurre, la plasticidad neuronal de la que depende la capacidad del hipocampo para formar nuevos recuerdos conscientes se ve seriamente comprometida. La evidencia experimental indica, por el contrario, que el estrés crónico contribuye a aumentar la sensibilidad del sistema de aprendizaje amigdalario y, consecuentemente, a un incremento de la ansiedad. Si tenemos en cuenta cuáles son las funciones que el hipocampo y la amígdala desempeñan en la formación de la memoria emocional, llegamos a la conclusión de que una situación crónica de tensión psicológica puede llevar, por un lado, a la alteración del componente explícito y consciente de los recuerdos emocionales y, por otro, a la intensificación de sus aspectos más afectivos y automáticos. De nuevo, los dos componentes de la memoria emocional aparecen disociados.

El papel complementario de la amígdala y el hipocampo en la formación de nuevos recuerdos, junto con la influencia que sobre estos sistemas cerebrales ejercen las hormonas implicadas en la respuesta de estrés, permite entender mejor el modo en que la emoción influye sobre la memoria, favoreciendo en unos casos la consolidación de los aspectos explícitos e implícitos de los

recuerdos emocionales o disociándolos en otros. Esto último es lo que ocurre cuando una emoción excesivamente intensa o repetida en el tiempo trastoca el equilibrio hormonal y altera el normal funcionamiento de los sistemas de consolidación de la memoria explícita.

Indudablemente, ésta es una explicación de los efectos del trauma psicológico menos literaria que la teoría freudiana de la represión, pero probablemente mucho más cercana a la realidad y, en cualquier caso, más fácil de verificar.

³⁶ García Márquez, G. (2014). *El amor en los tiempos del cólera*. Barcelona, DeBolsillo, 2014.

³⁷ Schachter, D. (2003). *Los siete pecados capitales de la memoria*. Barcelona, Ariel (publicación original en inglés, 2001).

³⁸ Ceci, S. J. y Loftus, E. F. (1994). «Memory work»: A royal road to false memories? *Applied Cognitive Psychology*, 8(4), pp. 351-364.

APRENDER DURMIENDO: EL PAPEL DEL SUEÑO EN LA FORMACIÓN DE LA MEMORIA

Rosas y descargas eléctricas, el caqui de los Deltas y una vaharada de asafétida, indisolublemente relacionados entre sí antes de que el niño sepa hablar. Pero el condicionamiento sin palabras es algo tosco y burdo; no puede hacer distinciones más sutiles, no puede inculcar las formas de comportamiento más complejas. Para esto se precisan las palabras, pero palabras sin razonamiento. En suma, la hipnopedía.

Aldous Huxley, *Un mundo feliz* (1932)³⁹

1. Auge y caída de la hipnopedía

En su famosa distopía *Un mundo feliz*, Aldous Huxley describió una sociedad uniforme y perfectamente planificada formada por una masa de súbditos obedientes y alienados. En los Centros de Incubación y Condicionamiento, bebés producidos en serie son sometidos a un intenso lavado de cerebro mediante las técnicas educativas del «condicionamiento Neo-Pavloviano» y la «hipnopedía» (literalmente, el aprendizaje durante el sueño). Enseñados por condicionamiento, los bebés adquieren perennes aversiones a objetos socialmente proscritos como flores y libros mediante su asociación con sonidos aterradores. El método algo más sofisticado de la hipnopedía, en cambio, es el preferido para inculcar en las mentes de los futuros ciudadanos los principios morales de la nueva sociedad mediante la repetición de consignas durante el sueño. En palabras del director de la Central de Incubación de Londres, la hipnopedía prometía ser «la mayor fuerza socializadora y moralizadora de todos los tiempos».

Sea como método de adoctrinamiento o simplemente como atajo para solventar los sinsabores de la educación paso a paso, numerosas obras de

ficción han jugado con la posibilidad del aprendizaje durante el sueño, una idea que durante un tiempo formó parte de la mitología popular sobre los poderes ocultos de la mente. Antes de que Huxley recurriese a la hipnopedía en su mundo feliz, el pionero de la ciencia ficción Hugo Gernsback describió en su serie de relatos *Ralph 124C 41+* (1911) el hipnobioscopio, una máquina que facilitaba el aprendizaje mediante la transmisión de información directamente al cerebro de los durmientes. Igual que otras ocurrencias más o menos fantásticas sobre las posibilidades ocultas del cerebro, la idea del aprendizaje durante el sueño nos atrae y nos permite fantasear con las posibilidades de misteriosos superpoderes mentales que quizá yazcan escondidos entre los pliegues de nuestro cerebro.

La hipnopedía y el don de lenguas

En el globalizado e interconectado mundo del siglo XXI, ser capaz de comunicarnos en idiomas distintos a nuestra lengua nativa es una necesidad casi ineludible. Pero aprender un idioma extranjero es por lo general un largo y difícil camino que parece no llegar nunca a la meta deseada. Aunque los días de gloria de la hipnopedía ya pasaron, aún es posible encontrar en internet anuncios de avispados comerciantes que, conscientes de la coincidencia entre necesidad y dificultad, ofrecen una fácil y cómoda solución para el aprendizaje de idiomas. No nos empeñemos en seguir complicados y aburridos cursos para aprender inglés cuando el método más cómodo y eficaz para lograrlo está al alcance de la almohada. Basta con dormir placenteramente mientras el lector de CD o la última aplicación de nuestro *smartphone* reproducen la conjugación de los verbos irregulares en inglés. Pero antes de abalanzarnos a pagar a buen precio la milagrosa herramienta para el aprendizaje nocturno, detengámonos un momento y veamos qué se sabe exactamente sobre esta atractiva posibilidad. Si pasamos de la ficción y los mitos populares a la ciencia la conclusión es descorazonadora... aunque no del todo.

Parece seguro que dormir mientras una suave voz recita a nuestro lado lecciones de gramática no nos va a hacer progresar en el dominio de ese

idioma que tanto se nos resiste. Pero, aunque de momento el dormitorio no pueda sustituir a la escuela de idiomas, dormir después de ir a clase puede ser fundamental si queremos sacar el máximo provecho a nuestros estudios. Explorar la hipótesis del aprendizaje durante el sueño merece la pena. Indagando sobre lo que pueda tener de verdad vamos a descubrir algunos hechos fascinantes sobre la relación entre el sueño y la memoria.

Movidos precisamente por el interés en encontrar métodos rápidos y eficaces para el aprendizaje de lenguas extranjeras, en la década de 1960 un grupo de científicos soviéticos se interesó por la potencial utilidad de la hipnopedia. En uno de los estudios llevados a cabo con el propósito de comprobar sus posibles beneficios, su autor y único participante pretendía nada menos que «aprender a leer y traducir del italiano literatura científica sobre medicina». No hay constancia de que llegara muy lejos en su intento. Un estudio menos ambicioso en cuanto a sus objetivos, pero que contó con una amplia muestra de participantes, fue dirigido por Leonidas Bliznitchenko, un reputado especialista en fonética que intentó probar la eficacia de la hipnopedia en una muestra de dos mil voluntarios. Informes de estudios a menor escala que aparentemente demostraban el poder pedagógico de la hipnopedia aparecieron en publicaciones científicas soviéticas, generalmente con una metodología poco exigente que arroja serias dudas sobre la fiabilidad de los resultados.

Los supuestos beneficios de la hipnopedia fueron descritos por el pionero Bliznitchenko en una monografía pomposamente titulada *El aprendizaje durante el sueño natural. Una revolución educativa*, publicada en 1967. Los estudios hipnopédicos llegaron a encontrar hueco en el XVIII Congreso Internacional de Psicología, celebrado en Moscú en 1966 bajo la dirección del afamado neuropsicólogo ruso Alexander Luria y al que asistieron figuras de la psicología del momento tan influyentes como Jean Piaget o Neal Miller. Pero quizá como una manifestación más de la guerra fría, los aparentes éxitos de los psicólogos soviéticos fueron pronto puestos en duda por los informes negativos que fueron apareciendo en estudios mejor controlados publicados en revistas científicas occidentales.

Las primeras demostraciones de aprendizaje hipnopédico fueron criticadas ya en los años cincuenta debido a sus importantes fallos metodológicos. Uno

fundamental era la ausencia de un control objetivo del nivel de sueño/vigilia de los participantes mientras se les presentaba la información a recordar, ¿estaban realmente dormidos?, ¿en qué fase del sueño se hallaban? Cuando se realizaron estudios que controlaban debidamente el estado de sueño mediante el registro de la actividad eléctrica cerebral (registro EEG) se demostró que si la información (una lista de nombres, por ejemplo) se presentaba mientras el sujeto estaba realmente dormido, éste no era luego capaz de recordar absolutamente nada. La supuesta hipnopedía sólo parecía ser eficaz si la presentación de la información a recordar coincidía con momentos de vigilia.

La posibilidad de aprender durante el sueño no es en sí misma descabellada. Cerebro dormido no es igual a cerebro inactivo y no sólo porque mientras dormimos seamos protagonistas de esos animados y a veces chocantes cortometrajes que son los sueños. Mientras dormimos, el cerebro no está totalmente desconectado del mundo exterior. Detecta estímulos externos y es especialmente sensible a aquellos que poseen un significado importante, como nuestro propio nombre susurrado al oído. Pero ¿es esto suficiente para aprender? Podría pensarse que el aprendiz debe además prestar atención a lo que está aprendiendo. Sin embargo, actualmente sabemos que incluso estando despiertos adquirimos ciertos tipos de conocimientos sin darnos cuenta ni poner especial interés en aprender, lo que los psicólogos llaman «aprendizaje incidental». Incluso se ha demostrado que hay mensajes externos que pueden entrar en nuestro cerebro en estado de anestesia o que estímulos que no acceden a la conciencia pero que son procesados por el cerebro pueden afectar de forma sutil a nuestra conducta.

¿Qué podemos aprender durmiendo?

Aunque el interés actual de los científicos por estudiar los posibles beneficios pedagógicos del sueño es más bien escaso, investigaciones recientes realizadas con una cuidada metodología indican que algunas formas elementales de aprendizaje (nada parecido al aprendizaje del alemán o la asimilación de nuevos códigos morales) sí pueden tener lugar durante el sueño. Para demostrarlo, los científicos han recurrido a un tipo de estímulos

que logran abrirse camino fácilmente hasta el cerebro dormido, los olores. En un ingenioso estudio publicado en 2012, se aprovechó el hecho de que ciertos olores tienen la capacidad de modificar el patrón respiratorio del durmiente sin despertarlo ni alterar su nivel de activación. Por ejemplo, los olores agradables producen inhalaciones más profundas que los olores desagradables, un patrón que se puede observar tanto durante el sueño como en estado de vigilia. Teniendo esto en cuenta, los investigadores presentaron a los sujetos dormidos olores agradables simultáneamente a un determinado sonido y olores desagradables acompañados de un sonido diferente. Con este sencillo procedimiento trataban de enseñar a los durmientes qué sonidos significaban «huele bien» y cuáles «huele mal».

Cuando se volvió a presentar los mismos sonidos a los sujetos ya despiertos, se observó algo sorprendente. Por una parte, los investigadores comprobaron que todos los sonidos producían respuestas de inhalación, algo que evidentemente no es propio de los estímulos auditivos. Era como si ahora los sonidos «oliesen». Aún más importante, los sonidos que previamente habían acompañado a los olores más agradables provocaban inhalaciones más profundas, igual que habían hecho los propios olores durante el sueño. Esta observación indicó bien a las claras que la relación entre sonidos y olores experimentada durante el sueño había logrado establecer en el cerebro dormido asociaciones precisas y diferenciadas que luego se manifestaban en estado de vigilia. Efectivamente, el entrenamiento asociativo durante el sueño había hecho que algunos sonidos quedasen asociados en la mente de los durmientes a olores agradables y otros a olores desagradables. Todo ello, por supuesto, sin que los participantes en el experimento se dieran cuenta de nada. Sí, se trata de un claro ejemplo de condicionamiento o aprendizaje por asociación, el mismo que Pavlov estudió intensamente en sus perros, aunque de consecuencias mucho más leves que las descritas por Huxley en su mundo infeliz.

2. ¿Cómo se forma un recuerdo?

Antes de iniciar nuestra indagación sobre los posibles beneficios del sueño

para el aprendizaje y la memoria es preciso entender el modo en que los recuerdos se forman en el cerebro. Confiar las fotos de las vacaciones a la memoria de nuestro ordenador es una tarea bien simple. Un golpe de tecla o un clic del ratón y allí quedan para siempre los recuerdos del último verano. Exactos y siempre accesibles, los recuerdos digitales se forman de manera instantánea y no se mezclan ni desvanecen con el paso del tiempo. Otro golpe de tecla al cabo de seis meses y allí aparecen de nuevo las fotos de la playa, frescas y precisas como el primer día. Por suerte o por desgracia, no es éste el modo en que funciona nuestra memoria. Construir un recuerdo, por simple que sea, lleva su tiempo. Y recordar un episodio de nuestro pasado rara vez equivale a proyectar sobre la pantalla de la conciencia una reproducción fiel y detallada de lo vivido.

Consolidación: la memoria en formación

Los psicólogos especializados en el estudio de la memoria insisten en que la formación de un recuerdo es un proceso dinámico que se desarrolla en múltiples fases. La información que penetra por los sentidos debe sufrir varias modificaciones antes de quedar grabada en el cerebro como un recuerdo más o menos duradero. La primera modificación tiene lugar durante la llamada fase de codificación, cuando nuevas experiencias, conocimientos o habilidades son procesados de modo que puedan ser «tratados» adecuadamente por el cerebro. Las zonas de la corteza cerebral especializadas en el procesamiento de imágenes, de sonidos o de olores son las implicadas en ese primer estadio de tratamiento de la información. Podríamos decir que los sistemas sensoriales del cerebro van construyendo sobre la marcha «representaciones» internas de la realidad que de forma incesante se despliega ante nuestros sentidos. La mayor parte de esa información sensorial es desechada inmediatamente y sólo una pequeña fracción de lo percibido pasa finalmente a formar parte de nuestra memoria duradera. Pero esto no ocurre de súbito, sino que es resultado de un proceso gradual denominado consolidación, un conjunto enormemente complejo de sucesos neurobiológicos cuya naturaleza los científicos sólo están comenzando a desentrañar. A resultas de la consolidación, experiencias

vividas, nuevos conocimientos y habilidades arduamente adquiridas quedarán depositadas en el cerebro, bien como recuerdos que pueden ser revividos con mayor o menor facilidad, bien como potencialidades que nos permiten ejecutar eficazmente tareas como conducir un automóvil, hacer operaciones aritméticas o hablar y comprender nuestra lengua materna sin necesidad de hacer un curso de sintaxis.

La consolidación de la memoria supone la estabilización durante un tiempo prolongado, a veces de modo prácticamente permanente, de los cambios neurobiológicos producidos en diferentes redes neuronales. Una gran cantidad de investigaciones llevadas a cabo con animales tan variados como pollos, peces rojos, moscas de la fruta (la famosa *Drosophila* de los estudios genéticos), ratas de laboratorio o, por supuesto, seres humanos, muestran que los recuerdos requieren de un periodo de tiempo variable para fijarse eficazmente en la memoria. El estudio de los procesos que subyacen a la consolidación de nuevos aprendizajes y recuerdos es una de las áreas de investigación más activas y avanzadas de la neurociencia actual y en él confluyen desde la genética y la biología molecular hasta la psicología experimental, la ciencia computacional o el análisis de la actividad cerebral mediante técnicas de neuroimagen.

En los momentos iniciales de la consolidación, los recuerdos se hallan en un estado inestable o lábil, de modo que pueden ser fácilmente interferidos, borrados y sustituidos por el recuerdo de nuevas experiencias. En cambio, los recuerdos que han logrado mantenerse se van haciendo más estables, es decir, más resistentes a distintos factores que podrían entorpecer su consolidación. Uno de esos factores es la interferencia causada por nuevos aprendizajes, la así llamada interferencia retroactiva. Aprender dos nuevas piezas musicales al piano una tras otra o tratar de dominar en la misma tarde dos nuevos programas informáticos puede reducir la eficacia del primer aprendizaje debido a que su consolidación se ve interferida por el aprendizaje más reciente. Espaciar la práctica de nuevas habilidades, especialmente cuando estas son relativamente similares, es lo más recomendable para evitar esta interferencia. Un intervalo suficientemente largo de descanso entre una y otra experiencia reduce la probabilidad de que procesos de consolidación aún en marcha se vean interferidos por nuevos aprendizajes.

Utilizando animales de laboratorio, los científicos han logrado detener la formación del recuerdo de experiencias recientes administrando poco después del aprendizaje distintos tratamientos que interfieren con los procesos de plasticidad sináptica en los que se basa el aprendizaje. Uno de los más empleados es la administración de fármacos que inhiben la síntesis de proteínas en el cerebro. Esta manipulación se debe a que la síntesis de nuevas proteínas es un proceso necesario para que tenga lugar la plasticidad neuronal, es decir, la modificación de las propiedades funcionales y estructurales de las neuronas, base y fundamento de la formación de recuerdos duraderos.

Algunas estimaciones sugieren que el tiempo necesario para la consolidación de los recuerdos en la memoria humana podría ser especialmente prolongado, abarcando en algunos casos periodos de meses o años. Esta conclusión se basa en las observaciones realizadas con pacientes que manifiestan amnesia retrógrada, es decir, dificultad para recordar hechos de su pasado. Una causa común de la amnesia es el traumatismo craneo-encefálico, causado por una caída o un golpe recibido en un accidente de tráfico y que puede producir pérdida transitoria de conciencia y una brusca y repentina alteración de la actividad cerebral. En estos casos suele observarse que al volver en sí el paciente es incapaz de recordar los acontecimientos inmediatamente anteriores al accidente, un hecho que se atribuye a la interrupción de los procesos de consolidación de la memoria. Al verse interrumpida la consolidación, el recuerdo de los acontecimientos previos al accidente nunca llega a formarse. Sin embargo, a menudo se observa también una amnesia retrógrada más extensa que afecta a recuerdos anteriores, aunque con la peculiar característica de que la memoria tiende a ser mejor cuanto más remoto en el tiempo sea el acontecimiento recordado. Dicho de otro modo, se observa un patrón graduado de pérdida de memoria que va de más a menos a medida que retrocedemos en el pasado del sujeto. Cuanto más antiguo es el acontecimiento, mejor es su recuerdo. La interpretación más común de este patrón de memoria perdida y memoria conservada es que los recuerdos de los acontecimientos más remotos están mejor consolidados, siendo por tanto más resistentes a los efectos del traumatismo. Basándose en la observación de que a veces el periodo de amnesia retrógrada abarca varios años, algunos investigadores creen que la consolidación de los recuerdos personales podría

requerir periodos muy prolongados de tiempo.

3. Dormir, soñar... tal vez recordar

Pero ¿qué tiene que ver el sueño con todo esto? ¿Dónde queda nuestra indagación sobre los poderes del aprendizaje durmiente? Ya hemos visto que la evidencia sobre la posibilidad de aprender cosas medianamente complejas mientras dormimos es prácticamente inexistente. Sin embargo, el sueño sí parece ser importante para la memoria, si bien de un modo distinto al que suponían los entusiastas soviéticos de la hipnopedia.

Aunque el insomnio sea un trastorno que puede tener serias consecuencias sobre la salud y todos conozcamos las desagradables consecuencias de la falta de sueño, los científicos no han llegado a ponerse de acuerdo sobre para qué sirve realmente dormir. ¿Por qué gastar la tercera parte de nuestra vida (ésta la estimación oficial) en un estado que en su mayor parte equivale a no existir? Actualmente se cree que uno de los motivos de esta aparente pérdida de tiempo es permitirle al cerebro hacer un trabajo que no podría realizar tan eficazmente si tuviese que ocuparse durante 24 horas al día de los pormenores de la vida despierta. Ese trabajo es ni más ni menos que el de organizar y afianzar nuestros recuerdos. Tal como indican numerosas pruebas, el sueño parece ser un elemento fundamental en el complejo proceso de formación y estabilización de la memoria, un momento privilegiado para que tengan lugar las actividades necesarias para su consolidación.

Dormir para recordar

La observación fundamental es la siguiente: según indican los resultados de numerosos estudios realizados con animales y seres humanos, la adquisición de distintos tipos de destrezas y conocimientos durante la vida despierta se ve beneficiada por un periodo de sueño posterior al aprendizaje. En los estudios llevados a cabo con seres humanos, este resultado se ha obtenido haciendo que

antes de dormir los participantes aprendan nuevas destrezas motoras o perceptivas, vean fotografías mostrando escenas que luego deben recordar o traten de confiar a su memoria pares de palabras asociadas arbitrariamente, vocabulario de un idioma extranjero o nuevos fragmentos de texto. Al ser puestos a prueba después de despertar, estos participantes recuerdan mejor lo aprendido que los de un grupo de comparación que después del aprendizaje inicial han pasado por un periodo equivalente de vigilia. Este resultado se ha obtenido incluso si los participantes duermen sólo una siesta de unos pocos minutos después del aprendizaje inicial. Ese pequeño descanso parece bastar para consolidar lo aprendido. Además, estudios cuidadosamente diseñados han permitido excluir explicaciones de estos hallazgos basadas en factores colaterales como el efecto de la fatiga en los sujetos a los que les toca quedarse sin dormir (podría ser que estos rindiesen peor durante la prueba simplemente porque están más fatigados).

Inicialmente se pensó que el efecto beneficioso del sueño sobre la memoria se debía a que mientras dormimos el cerebro está desocupado e inactivo, sin llevar a cabo ninguna actividad cognitiva que pudiera interferir con lo aprendido durante el día. De acuerdo con esta explicación, el descanso cerebral simplemente contribuiría a evitar que la memoria de los sucesos y aprendizajes previos sea interferida por nuevos aprendizajes. Sin embargo, los participantes que han dormido después de aprender se superan a sí mismos y no sólo rinden mejor que los que han permanecido despiertos. Por ejemplo, se ha demostrado que dormir después de haber practicado una nueva destreza motora aumenta la rapidez de su ejecución hasta un veinte por ciento en comparación con un periodo similar sin dormir. No parece, por tanto, que el sueño simplemente proteja de la interferencia a los recuerdos recién formados. Si así fuera, no deberían observarse estas mejoras en la ejecución después del sueño. Que mientras dormimos ocurre algo más importante lo indican claramente los resultados de un estudio en el que, después de dormir, los sujetos daban con soluciones más eficaces a problemas que habían resuelto sólo con dificultad el día anterior. Este dato sugiere que el sueño puede actuar como una especie de incubadora mental que nos ayuda a dar con nuevas y más eficaces soluciones a problemas en los que hemos meditado durante el día. Quizá esto explique las anécdotas que narran cómo surgieron del sueño

brillantes ideas como la tabla periódica de los elementos de Mendeleiev o la melodía de «Yesterday», la sublime balada que Paul McCartney confesó haber soñado.

Lejos de estar de asueto y aunque se halle relativamente desconectado del mundo exterior, el cerebro dormido genera de forma espontánea complejos patrones de actividad cíclica, distintos ritmos surgidos de la actividad coordinada de millones de neuronas que van sucediéndose a lo largo de la noche y que constituyen el telón de fondo sobre el que se desarrollan las actividades asociadas a la consolidación de la memoria. Por lo demás, se ha demostrado que el aprendizaje produce sutiles alteraciones en el funcionamiento de áreas cerebrales específicas durante el sueño, dando origen a patrones de actividad similares a los que se produjeron durante el propio aprendizaje. Observaciones como ésta llevan a pensar que durante el sueño tiene lugar un proceso activo de tratamiento de los datos derivados del aprendizaje. Un proceso que facilita la formación y estabilización de los recuerdos y enseñanzas de la vida despierta. Aunque la consolidación de la memoria no sólo tiene lugar durante el sueño, hay indicios de que los procesos de fijación de lo aprendido que tienen lugar mientras dormimos son distintos y quizá más eficaces que los que se desarrollan durante nuestra vida despierta.

Es bien sabido que el sueño pasa por distintas fases que se repiten de forma cíclica a lo largo de la noche. Durante el sueño se repiten en alternancia dos principales fases caracterizadas por diferentes patrones de actividad cerebral y muscular, el sueño REM (del inglés «Rapid Eye Movement») y el sueño no-REM. Las dos fases se diferencian, entre otras cosas, por la presencia (fase REM) o ausencia (fase no-REM) de movimientos oculares rápidos. Mientras que la fase no-REM es característica de las primeras horas de sueño, la fase REM tiene lugar en la segunda mitad de la noche y se corresponde con el periodo durante el cual aparecen los sueños. El registro de la actividad del cerebro mediante electroencefalografía (EEG) muestra que durante el sueño REM predomina en el neocórtex un patrón espontáneo de actividad eléctrica de ondas rápidas, similar al que se puede observar en estado de vigilia. Este patrón contrasta con la actividad de ondas lentas característica del sueño no-REM. Pues bien, la distinción entre las dos fases del sueño es importante para nuestro tema porque cada una de ellas parece

cumplir una función diferente en relación con la consolidación de la memoria.

Saber cómo sin saber qué, dos variantes de la memoria

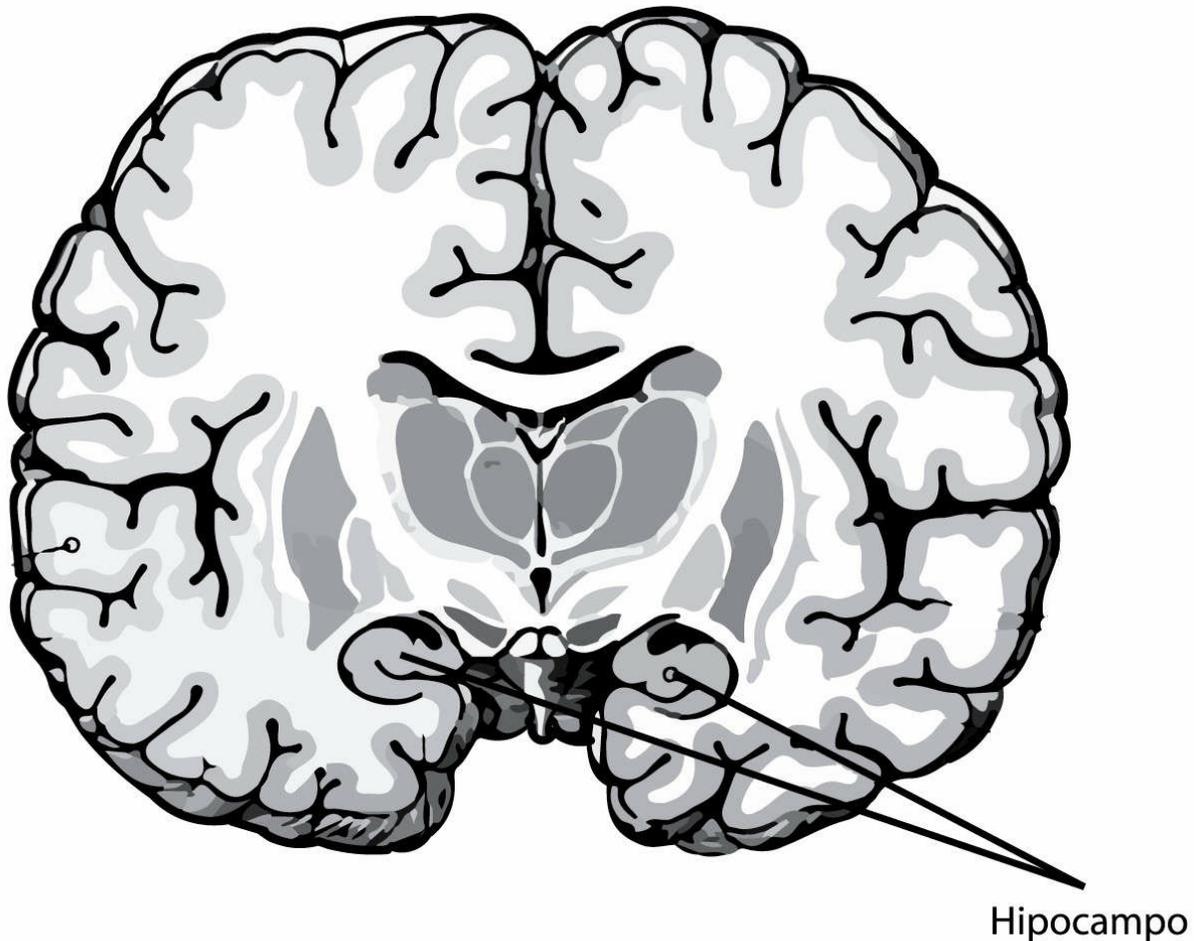
A la hora de entender el papel del sueño sobre la consolidación de los recuerdos es importante tener en cuenta las diferencias entre distintos tipos de memoria. Las teorías actuales de la memoria parten de la diferenciación entre dos tipos o sistemas de memoria, la memoria declarativa o explícita y la memoria procedimental o implícita. Dicho en términos sencillos, esta distinción se refiere a la diferencia entre «saber qué» (recuerdo haber llevado esta mañana a los niños a la escuela, sé que Miguel de Cervantes es el autor del *Quijote*) y saber cómo (puedo manejar con destreza el cortacésped, nada más probarlo distingo entre un Ribera y un Rioja). La distinción entre estas dos variantes de la memoria fue originalmente sugerida por el estudio del famoso paciente HM (Henry Molleskin). Con el fin de aliviar los graves y continuos ataques epilépticos que sufría a causa de un accidente en 1953, a la edad de veintisiete años, se realizó a Henry una operación de neurocirugía en la que se le extirpó gran parte de la zona interna de los lóbulos temporales, incluyendo el hipocampo, así denominado porque su forma recuerda a la grácil silueta del caballito de mar. Aunque la intervención logró detener los ataques epilépticos, tuvo un desgraciado e inesperado efecto secundario, la aparición de una severa e incapacitante amnesia.

Además de la dificultad para recordar hechos de su pasado, a partir de la operación y hasta su fallecimiento en 2008, Henry tuvo serios problemas para fijar nuevas informaciones en su memoria y adquirir nuevos recuerdos personales. Su vida, como él mismo expresaba, se convirtió en un presente permanente sin continuidad con su experiencia pasada y sin proyección en el futuro. Estudios posteriores en pacientes con daño cerebral han demostrado fuera de toda duda que la destrucción del hipocampo causa severos problemas de memoria, similares a los manifestados por HM. Sin embargo, las pruebas neuropsicológicas demostraron que, a pesar de su grave amnesia, era perfectamente capaz de adquirir nuevos hábitos y destrezas motoras o senso-perceptivas y de manifestar de modo indirecto los efectos de experiencias

previas. Sorprendentemente, esto ocurría a pesar de que Henry no guardase en su memoria registro consciente de tales experiencias. Se demostraba por vez primera que el saber qué y el saber cómo eran el resultado de procesos de aprendizaje diferenciados y dependientes de distintos sistemas cerebrales.

FIGURA 1

El hipocampo y la memoria



Representación esquemática de una sección coronal del cerebro indicando la localización del hipocampo en ambos hemisferios

La disociación entre la capacidad para aprender y la incapacidad para recordar conscientemente lo aprendido, observada en HM y en otros pacientes con lesión hipocampal, indica claramente que la memoria no es una capacidad unitaria que se tiene o se pierde. Nuestro cerebro es capaz de aprender y memorizar al menos de dos formas. Una de ellas se basa en la memoria

explícita o declarativa, que nos permite convertir la experiencia pasada en recuerdos conscientes que podemos evocar a voluntad y describir y sentir como propios. Además de esta memoria autobiográfica o «episódica», también forman parte de la memoria explícita los conocimientos objetivos sobre el mundo que nos rodea, bien sea adquiridos a través de la experiencia directa y repetida o mediante la educación formal. Todo este conjunto de conocimientos conforma la llamada memoria «semántica».

La memoria implícita, también denominada no declarativa o procedimental, tiene más que ver con la capacidad para adquirir a través de la práctica y la repetición nuevas habilidades y rutinas, procedimientos concretos que pueden servirnos para manejar máquinas o herramientas o que en su versión más abstracta nos permiten realizar mentalmente operaciones aritméticas o generar y comprender sin esfuerzo infinitas combinaciones de palabras expresadas a través del lenguaje. Una característica fundamental de esta forma de memoria es que podemos poner en práctica sus enseñanzas aun siendo completamente incapaces de explicar cómo lo hacemos. ¿Seríamos capaces de describir verbalmente la secuencia de acciones que empleamos para desarrollar actividades tan aparentemente simples como atarnos los zapatos o mantenernos en equilibrio sobre la bicicleta?, ¿necesitamos acaso un conocimiento explícito de la sintaxis para poder hablar correctamente nuestra lengua materna? Los aprendizajes que dependen de la memoria implícita o procedimental no se explican, se aplican. Aunque, como le ocurría a Henry, ni siquiera se tenga conciencia de haber aprendido.

Por lo que respecta al cerebro, existe una diferencia fundamental entre la memoria explícita y la memoria procedimental. Sólo la primera depende del hipocampo, la estructura que resultó gravemente afectada por la operación de neurocirugía practicada a HM. Por contra, la memoria procedimental depende de la actividad de otros sistemas cerebrales, entre ellos los implicados en el procesamiento de estímulos sensoriales y en el control del movimiento y la acción. Estos sistemas no fueron afectados por la operación realizada a HM, lo que explica que fuese capaz de aprender nuevas destrezas a pesar de no poder recordar cuándo, cómo ni dónde lo había hecho. En resumen, saber cómo sin saber qué.

4. Fases del sueño, memoria y ondas cerebrales

Una fase del sueño para cada tipo de memoria

Volviendo a las distintas fases del sueño y a su papel en la consolidación de la memoria, los datos más recientes apuntan a una clara diferencia entre la memoria explícita y la memoria implícita. En varios estudios se ha observado que la privación del sueño no-REM después del aprendizaje lleva a un peor rendimiento si la tarea anteriormente aprendida depende de la memoria explícita (por ejemplo, recordar asociaciones de palabras o nuevo vocabulario). Ocurre lo contrario en el caso del aprendizaje de destrezas dependiente de la memoria implícita o procedimental. Este tipo de memoria resulta más afectado por la privación del sueño REM. Incluso sin necesidad de recurrir a procedimientos de privación, se ha observado que las diferencias espontáneas entre sujetos en la duración de las distintas fases del sueño afectan de forma diferente a cada forma de memoria. Mientras que un mayor tiempo de sueño de ondas lentas favorece la consolidación de la memoria explícita, el aumento del tiempo de sueño REM es más beneficioso para el aprendizaje de destrezas y la memoria implícita. Al analizar las características de la actividad cerebral durante el sueño, los investigadores han encontrado que la aparición de un tipo de actividad eléctrica típica de la fase no-REM, las fluctuaciones denominadas husos del sueño, se correlaciona positivamente con la memoria explícita.

Pero ¿cuál es la razón de la preferencia de distintas formas de memoria por diferentes fases del sueño? Hay que tener en cuenta, por una parte, que la consolidación de la memoria explícita e implícita tiene distintos requisitos. Por ejemplo, la consolidación de nuestros recuerdos autobiográficos, que son parte de la memoria explícita, precisa de la colaboración temporal entre el hipocampo y el neocórtex, donde se supone que los recuerdos son finalmente almacenados. El tránsito de información a través de las vías cortico-hipocámpales resulta en un fortalecimiento progresivo de las conexiones entre áreas del neocórtex que codifican los diferentes aspectos o propiedades de un objeto o suceso recordado (el olor, sabor y aspecto de un plato memorable degustado en un buen restaurante).

Como ya se ha dicho, las fases REM y no-REM se caracterizan por patrones diferenciados de actividad eléctrica que pueden ser fácilmente observados mediante el registro EEG. Además, el tránsito de una a otra fase del sueño conlleva cambios en la conectividad cerebral, es decir, en los patrones de comunicación e intercambio de información entre sistemas cerebrales encargados de diferentes tareas. De acuerdo con todo esto, es posible que la consolidación de la memoria explícita tenga lugar durante el periodo no-REM debido a que el particular estado del cerebro en esta fase del sueño proporciona el telón de fondo más apropiado para el diálogo entre el hipocampo y el neocórtex. Un dato coherente con esta idea es que durante la fase no-REM se observa una mayor sincronía entre la actividad eléctrica registrada en el hipocampo y el neocórtex, lo que indica que ambas áreas están trabajando en colaboración para un fin común.

Aunque no deja de haber opiniones críticas, la contribución del sueño a la consolidación de la memoria es aceptada por la mayoría de los investigadores. Sin embargo, no todo tipo de recuerdos son igualmente sensibles a los efectos benéficos del sueño. Los aprendizajes diurnos que revisten más dificultad o en los que ponemos más empeño, así como el recuerdo de sucesos que tienen un mayor significado emocional, parecen ser los que más se benefician de un periodo posterior de descanso. Un dato interesante a este respecto es que la consolidación de la memoria emocional tiene lugar preferentemente durante la fase de sueño REM. Numerosos estudios de laboratorio han confirmado el superior recuerdo a largo plazo de los estímulos y sucesos emocionalmente significativos. Pues bien, esta potenciación de la memoria debida al significado emocional parece también tener lugar durante el sueño REM. Por una parte, la privación del sueño REM elimina el efecto de potenciación. Dicho de otro modo, después de un periodo de sueño sin fase REM se recuerdan con igual precisión los sucesos emocionales y los neutros. Otra observación relevante es que la fuerza de los recuerdos emocionales está directamente relacionada con la duración del sueño REM y con la presencia de un determinado tipo de actividad eléctrica (las llamadas ondas theta) en la corteza prefrontal.

¿Por qué mientras dormimos?

Por muy sugerente que resulte la evidencia sobre el papel del sueño en la consolidación de la memoria, el lector puede aún preguntarse cuál es la ventaja de dedicar a esta tarea nuestro tiempo de descanso. ¿No bastaría para fijar la memoria con los procesos de consolidación que tienen lugar en estado de vigilia? Probablemente no, y una explicación plausible del porqué la proporciona una teoría de la consolidación que intenta dar respuesta a varios dilemas que plantea el estudio de la memoria. Uno de ellos es cómo el cerebro logra evitar que cada nuevo aprendizaje borre los efectos de lo anteriormente aprendido. Durante la vida despierta nuestros sentidos son bombardeados por infinidad de estímulos, a lo que hay que añadir el constante ir y venir de ideas y sensaciones surgidas de nuestra propia mente. Pero una gran parte de todo ello es información de «usar y tirar», información que, aun siendo indispensable para el normal curso de la conducta, no merece ser convertida en recuerdo duradero. Para funcionar de modo adecuado, nuestra memoria no puede almacenar absolutamente todo lo que entra por nuestros sentidos, al modo del desgraciado Ireneo Funes, el memorioso personaje de Borges a quien su implacable memoria fotográfica impedía la más mínima abstracción⁴⁰. Una memoria eficiente debe compaginar de algún modo la fidelidad al detalle con la necesidad de seleccionar lo fundamental de los acontecimientos de la vida diaria y extraer los rasgos comunes a experiencias que se repiten obedeciendo a un mismo patrón. Pues bien, una forma de lograrlo es mediante un doble sistema de incorporación de datos con funciones y propiedades temporales claramente diferenciadas. En resumen, dos sistemas de aprendizaje complementarios que se rigen por mecanismos diferentes.

Ya hemos visto que la consolidación de la memoria explícita depende de la interacción entre hipocampo y neocórtex. Algunos investigadores creen que estos dos sistemas cerebrales desarrollan su trabajo en paralelo, pero difieren en cuanto a la velocidad a la que incorporan nuevos conocimientos y recuerdos. Mientras que el hipocampo aprende rápidamente sin necesidad de repeticiones, el neocórtex actúa de forma más lenta y gradual y, detalle importante, necesita de la ayuda del hipocampo para fijar de forma duradera los recuerdos. Por decirlo de un modo fácilmente comprensible, el hipocampo

sería algo así como un sistema de aprendizaje *online* que constantemente está incorporando nuevas informaciones. En contraste, el neocórtex actuaría de modo más conservador, lento y selectivo, extrayendo regularidades a partir de la información que recibe del hipocampo y poniendo en relación cada nuevo conocimiento con el bagaje de información previamente adquirido. De acuerdo con este esquema, la fijación de la memoria dependería provisionalmente del sistema rápido hipocampal, mientras que el almacenamiento y estabilización a largo plazo, así como la integración de nuevos datos con el conocimiento anterior, serían responsabilidad del neocórtex. Pero dado que durante el estado despierto el cerebro debe dar prioridad a la codificación del continuo flujo de estimulación que entra por los sentidos, una forma de evitar la sobrecarga de trabajo y reducir la interferencia es encomendar la consolidación a aquellos momentos en que el cerebro está más desocupado, es decir, al sueño.

5. Tócala otra vez, Sam: reactivación de los recuerdos durante el sueño

Se vive al menos dos veces

Durante los últimos años, los investigadores de la memoria han llegado a una conclusión sorprendente: la herramienta principal para la consolidación de la memoria durante el sueño es la reactivación de los recuerdos adquiridos durante el día. Durante el sueño, el cerebro vuelve a revivir el pasado inmediato para afianzar más su recuerdo. Es como si durante la noche experiencias y aprendizajes recientes volviesen a proyectarse sobre la pantalla del cerebro dormido.

Cada vez que rememoramos voluntariamente una experiencia pasada, como nuestra última fiesta de cumpleaños o la desagradable discusión con un compañero de trabajo, tiene lugar una reactivación más o menos completa de los diferentes elementos del recuerdo inicialmente formado. La reactivación de recuerdos es un proceso enormemente complejo que tiene múltiples

consecuencias tanto en el aspecto cognitivo (variaciones de contenido, incorporación de detalles reales o involuntariamente inventados) como neurobiológico. Por lo que se refiere al cerebro, la reactivación de recuerdos recientes implica la intervención tanto del hipocampo como del neocórtex, con una consecuencia de fundamental importancia: los recuerdos formados en el neocórtex se van fortaleciendo y consolidando gracias a los mensajes que le llegan del hipocampo en cada sucesiva reactivación. Podemos imaginar que en cada reactivación el hipocampo «proyecta» sobre los sistemas corticales las huellas de memoria correspondientes a la experiencia reactivada. Finalmente, cuando la memoria cortical se halla suficientemente consolidada, el recuerdo se vuelve duradero y puede ya ser reactivado sin necesidad de la mediación del hipocampo. Los recuerdos bien consolidados no sólo son más resistentes a la interferencia y al olvido. La consolidación de largo plazo contribuye además a depurar los recuerdos de detalles irrelevantes y a integrarlos más eficazmente con otros recuerdos y conocimientos previamente adquiridos.

Pero los recuerdos de experiencias pasadas no sólo son reactivados cuando hablamos expresamente de ellos o los evocamos en nuestra imaginación. Además de estas formas de reactivación «en línea», numerosos estudios realizados tanto con seres humanos como con animales de experimentación han demostrado que los recuerdos también pueden reactivarse «fuera de línea», de forma aparentemente espontánea y sin conexión con el mundo exterior o siquiera con la conciencia. Y esto es precisamente lo que parece ocurrir mientras dormimos. En realidad, la primera observación que sugirió esta posibilidad procede de un estudio realizado con ratas de laboratorio. Pero para comprender mejor su significado debemos tomar una nueva desviación y comentar una función del hipocampo que aún no hemos mencionado.

El hipocampo, un GPS cerebral

Además de su papel en la consolidación de la memoria, el hipocampo interviene de forma decisiva en el aprendizaje relacionado con la orientación y la localización espaciales. Una demostración especialmente llamativa de esta función procede de un famoso estudio realizado con taxistas londinenses

en el que se encontraron notables alteraciones estructurales en el hipocampo asociadas a su experiencia como conductores. Los investigadores observaron, por una parte, que el volumen de ciertas zonas del hipocampo era significativamente mayor en los taxistas expertos que en un grupo de comparación formado por novatos sin experiencia. Es más, este incremento guardaba una estrecha relación con los años de experiencia en la profesión. En una clara demostración del modo en que la experiencia moldea el cerebro de acuerdo con nuestras necesidades, el entrenamiento intensivo y la prolongada experiencia de los taxistas navegando el complejo entramado de la urbe londinense habían cambiado literalmente la conformación de la parte del cerebro más importante para llevar a cabo su trabajo diario, el hipocampo.

El neurocientífico John O'Keefe fue el primero en describir en una serie de estudios realizados en la década de los setenta del pasado siglo las llamadas «células de lugar» en el hipocampo de la rata. Estas células son neuronas hipocampales que se activan de forma selectiva cuando el animal se encuentra en diferentes localizaciones de un determinado entorno. En otras palabras, distintos grupos de células muestran una «preferencia» por determinadas zonas del entorno, de modo que el patrón de actividad neuronal que el hipocampo muestra, en un momento dado, actúa como un verdadero mapa en el que se representan el entorno y la posición relativa del animal en el mismo. Así, mientras la rata deambula por un nuevo entorno es posible seguir la formación del correspondiente «mapa» cerebral con la ayuda del registro directo de la actividad de células individuales del hipocampo. Investigaciones posteriores han descubierto en el hipocampo de la rata células que desempeñan distintas funciones en la formación de mapas mentales. Distintos tipos de células de lugar trabajando conjuntamente proporcionan al animal una especie de GPS mental que le permite aprender a orientarse eficazmente en su medio ambiente. Los resultados de estas investigaciones constituyen uno de los ejemplos más completos y avanzados de nuestro conocimiento acerca del modo en que el cerebro representa de forma dinámica los aspectos más relevantes del entorno. De hecho, la importancia e impacto de estas investigaciones fueron reconocidos con la concesión del premio Nobel a O'Keefe y a los entonces esposos May-Britt y Edvard Moser en 2014 por «sus descubrimientos sobre las células que constituyen el sistema de posicionamiento del cerebro»⁴¹.

Volviendo a recorrer el camino

Pero volvamos a la relación entre el sueño y la memoria. Los primeros resultados experimentales que demostraron en ratas de laboratorio la reactivación espontánea de recuerdos durante el sueño fueron publicados en 1994. Mediante el registro de la actividad de un número suficiente de células hipocampales, los investigadores compararon los patrones de actividad durante una experiencia inicial de aprendizaje y durante un periodo de sueño posterior, concretamente durante la fase de sueño de ondas lentas. Durante el aprendizaje, los animales aprendían a orientarse en un nuevo entorno para conseguir como premio pequeñas cantidades de alimento. Sorprendentemente, los resultados mostraron que el patrón de actividad registrado durante la fase de aprendizaje reaparecía durante el sueño. Más concretamente, las mismas células que habían estado activas durante la exploración inicial del entorno volvían a incrementar su actividad de modo coordinado durante el sueño. Según los investigadores, esta reactivación revelaba la recreación del mapa espacial formado durante la experiencia de aprendizaje y tenía la función de consolidar su recuerdo transfiriéndolo al neocórtex. Estudios posteriores han confirmado y completado estos hallazgos. Por ejemplo, se ha logrado observar la reactivación simultánea en el hipocampo y el neocórtex de los patrones de actividad correspondientes a una experiencia previa de aprendizaje, dando así más fuerza a la hipótesis sobre el papel fundamental que la colaboración entre estos sistemas cerebrales desempeña en la consolidación de la memoria.

La reactivación de recuerdos durante el sueño parece ser también una realidad en nuestra especie. La principal evidencia al respecto procede de estudios en los que mientras los participantes duermen se les presentan estímulos destinados a reactivar en su cerebro el recuerdo de alguna experiencia previa. Los psicólogos de la memoria llaman «claves de recuperación» a los estímulos que de forma más o menos accidental han quedado ligados a una determinada experiencia y que al ser posteriormente percibidos tienen el poder de evocar su recuerdo. Así, oír la voz de una persona conocida trae inmediatamente a nuestra conciencia la imagen de su cara, al igual que percibir un olor similar al del aula en que estudiamos en la escuela nos hace rememorar experiencias infantiles. Precisamente, han sido

estímulos olfativos los empleados en algunos de los estudios sobre la reactivación de recuerdos durante el sueño. Esto es debido a la capacidad ya mencionada de los olores para acceder al cerebro del durmiente sin perturbar su sueño. Mediante este método se ha logrado demostrar que la presentación de olores asociados a un aprendizaje previo mejora el rendimiento del sujeto cuando es puesto a prueba después de despertar. Una característica importante de este efecto es que sólo se observa si la presentación de la clave de recuperación tiene lugar durante el sueño de ondas lentas que, como ya hemos visto, está más estrechamente relacionado con la consolidación de la memoria explícita. Resultados similares se han obtenido mediante la presentación durante el sueño de claves de recuperación auditivas. Por ejemplo, la reproducción durante el sueño de una melodía simple aprendida al piano antes de ir a dormir mejora su ejecución al despertar. Otro dato bien significativo es que la presentación de claves de recuperación durante el sueño provoca un incremento de la actividad neuronal en el hipocampo, lo que resulta perfectamente coherente con el papel de esta estructura cerebral en la consolidación de la memoria.

6. El cabo suelto de los sueños

Como acabamos de ver, la reactivación de recuerdos durante el sueño es un mecanismo esencial para la consolidación de la memoria. Sin embargo, esto no quiere decir que mientras dormimos volvamos a revivir experiencias pasadas como si se tratara de pequeños cortometrajes extraídos de nuestra vida despierta. Lo más que puede decirse es que mientras dormimos se generan en el cerebro patrones de actividad neuronal que reproducen parcialmente los patrones característicos de sucesos y experiencias de aprendizaje vividas durante el día. Probablemente esto es todo lo que se precisa para la consolidación durante el sueño, sin necesidad de que la actividad cerebral dé origen a la experiencia subjetiva de una verdadera rememoración. De hecho, la rememoración voluntaria en estado despierto y la reactivación espontánea de recuerdos durante el sueño parecen basarse en mecanismos diferentes y tener efectos muy distintos sobre la memoria. Una

observación importante a este respecto es que la reproducción de recuerdos durante el sueño tiene lugar a una velocidad mucho mayor que la correspondiente a la experiencia en estado de vigilia, como cuando multiplicamos la velocidad de reproducción de una grabación de vídeo.

Pero ¿y los sueños? La experiencia subjetiva de los sueños es en cierto sentido similar a la de la vida despierta. Imágenes de sorprendente viveza, dotadas a menudo de una potente carga emocional y acompañadas frecuentemente de una clara conciencia de nosotros mismos, parecen sucederse ante nuestros ojos noche tras noche. Mientras soñamos seguimos siendo nosotros mismos y aunque llevemos a cabo hazañas imposibles como volar o cambiar de lugar sin dar un solo paso, nuestro yo sigue presente y no sentimos ser una persona distinta. Paradójicamente, los sueños contienen muchos de los elementos subjetivos característicos de la experiencia consciente. ¿No será entonces cuando reproducimos escenas y aprendizajes previamente experimentados? ¿Y no será ésta la principal función de esa misteriosa y hasta ahora inexplicada creación de nuestra mente? Por desgracia, lo poco que sabemos al respecto no apoya esta hipótesis y más bien nos deja con la incómoda sensación de un importante cabo suelto en la investigación sobre el sueño y la memoria.

El análisis del contenido de los sueños, de los temas que en ellos se desarrollan, podría proporcionar importantes pistas sobre su posible función en la consolidación de la memoria. ¿Son los sueños reconstrucciones de experiencias vividas, proyectadas en el cerebro a modo de recordatorio de los sucesos cotidianos? ¿Reflejan los sueños la reactivación de recuerdos de nuestras vivencias más recientes? Lo cierto es que esta idea no concuerda con la observación de que la aparición en los sueños de personas, lugares o emociones de la vida diurna tiene lugar casi siempre de forma fragmentaria, muy lejos de una reproducción más o menos fidedigna de la experiencia despierta. Freud llamaba «residuos del día» a esos rastros de la vida diurna que según la teoría psicoanalítica son transformados en sueños por una serie de complejos mecanismos inconscientes.

Lo que los estudios más recientes confirman es simplemente que en los sueños aparecen frecuentemente fragmentos de la vida despierta. En cambio, la reproducción fidedigna de episodios completos, como en las pesadillas

producidas por la vivencia de experiencias altamente traumáticas, ocurre mucho menos a menudo (en menos del 2% de las ocasiones, según las estimaciones de algunos estudios). Es cierto, sin embargo, que la mayoría de los sueños no son una simple sucesión aleatoria de imágenes, sino que poseen una estructura narrativa que recuerda muchas veces a los complejos y llamativos montajes de los videoclips musicales. Pero esta estructura no se corresponde en la mayoría de los casos con secuencias extraídas de la vida diurna y obedece más bien a una lógica constructiva que de momento se nos escapa. La comprensión del sentido subyacente a la narrativa de los sueños fue precisamente uno de los temas fundamentales del psicoanálisis freudiano, aunque el carácter totalmente especulativo de la teoría no es de gran ayuda a la hora de encontrar una explicación científica y objetiva de la naturaleza y función de los sueños.

Los investigadores que se han interesado por el posible papel de los sueños en la consolidación de la memoria han recurrido en sus estudios a las descripciones que los propios durmientes dan de sus sueños al despertar y de su posible relación con las experiencias del día anterior. Pero dada nuestra generalmente frágil memoria para los sueños, estos estudios requieren complejos diseños, incluida la preparación de cuidadosos protocolos de recogida de datos y un alto nivel de implicación por parte de los participantes. Un resultado obtenido repetidamente es que los sueños incorporan elementos de experiencias vividas previamente, pero de forma demorada. Los contenidos correspondientes a una determinada experiencia aparecen en sueños después de un intervalo que puede variar entre dos y siete días. Esto sólo parece ocurrir cuando el sueño tiene lugar durante la fase REM y el sujeto es despertado inmediatamente. Detalle importante, los contenidos incorporados al sueño suelen corresponder a sucesos de alta relevancia personal. Aunque estos resultados sean sugerentes y demuestren que los sueños incorporan de forma selectiva contenidos asociados a experiencias emocionalmente significativas, su papel en relación a los procesos de consolidación de la memoria no está del todo clara. No obstante, otro tipo de observaciones, apuntan en esa dirección. Concretamente, soñar con una tarea recién aprendida parece mejorar el rendimiento en la misma al despertar. En un estudio en el que los participantes debían aprender a orientarse en un entorno virtual, la

ejecución de la tarea después de una corta siesta fue superior en aquellos que informaban haber soñado con ella. Sin embargo, pensar en la tarea mientras estaban despiertos resultó no tener efecto alguno. El resultado es sugerente... aunque no es fácil que podamos utilizarlo para mejorar nuestras habilidades sin haber aprendido antes cómo producir el sueño apropiado.

A lo largo de este capítulo hemos repasado la evolución de las ideas acerca de la relación entre el sueño y la memoria, desde los primeros días de la hipnopedía y la ciencia ficción a los actuales estudios neurobiológicos. Desgraciadamente, las grandes expectativas que algunos depositaron en la hipnopedía como método de aprendizaje rápido e indoloro no se han cumplido. Sin embargo, es posible que algunas claves para comprender el funcionamiento de la memoria se encuentren precisamente en el sueño. Aunque el acuerdo entre los investigadores no sea total y queden aún muchas preguntas por responder, la evidencia a favor de una estrecha relación entre el sueño y la memoria es sólida y reconocida por la mayoría de especialistas. El estudio de los complejos cambios en los patrones de actividad cerebral que tienen lugar durante el sueño y su posible relación con la reactivación de recuerdos y la consolidación de la memoria es un área de investigación fascinante que quizá nos ayude a responder, algún día, a la pregunta de cómo se forman los recuerdos en nuestro cerebro. Y a un nivel más mundano, los beneficios demostrados del sueño sobre la memoria deberían darnos un motivo más para satisfacer debidamente esa dulce necesidad de nuestro organismo: dormir.

³⁹ Huxley, A. (2014). *Un mundo feliz*. Barcelona, Debolsillo.

⁴⁰ En su relato «Funes el memorioso» (de la colección de cuentos *Ficciones* —Alianza Editorial, 1985—), Jorge Luis Borges describe la supermemoria de su protagonista: «Funes no sólo recordaba cada hoja de cada árbol de cada monte, sino cada una de las veces que la había percibido o imaginado».

⁴¹ <https://www.nobelprize.org/prizes>

¿SE PUEDE MANIPULAR EL CEREBRO? DE LA NEUROTECNOLOGÍA AL ESPIONAJE MENTAL

*Soy un espía en la casa del amor
Conozco todos los sueños con que sueñas
Sé qué palabras anhelas escuchar
Conozco tus más profundos y secretos miedos
Lo sé todo
Todo lo que haces
Cada lugar al que vas
Todo lo que tú sabes.*

Jim Morrison, «The spy»⁴²

1. Ficciones cerebrales

La idea de la manipulación cerebral, la posibilidad de que nuestros pensamientos puedan ser observados o alterados mediante algún dispositivo externo, evoca inquietantes imágenes y oscuros mundos de ciencia ficción. Sin embargo, las técnicas destinadas a alterar el funcionamiento del cerebro con fines terapéuticos o de investigación están entre nosotros desde hace décadas. Procedimientos como la lobotomía o el tratamiento electro-convulsivo, más conocido como *electroshock*, se han ganado una pésima fama como métodos crueles y de dudosa eficacia para el tratamiento de la enfermedad mental. A la mala reputación de estas técnicas han contribuido tanto los demostrados abusos en su utilización médica como su representación caricaturesca y tremendista en numerosas obras de ficción. El ejemplo más conocido e influyente es el de la película *Alguien voló sobre el nido del cuco*, dirigida por Milos Forman en 1975 y basada en la novela homónima del gurú del movimiento *hippie* Ken Kesey. En la obra, Randle McMurphy, un criminal reincidente magistralmente interpretado por Jack Nicholson, es internado en

una institución mental en la que, con el fin de calmar su conducta violenta y rebelde, es sometido a sesiones de *electroshock* y a una operación de lobotomía. La película obtuvo un enorme éxito y fue considerada como un alegato en contra de la utilización de la psiquiatría como forma de anulación de la libertad individual y método de represión de quienes osan rebelarse contra el orden social. Por desgracia, la popularidad del film también contribuyó a difundir una imagen distorsionada y poco realista tanto de la psiquiatría como de la propia enfermedad mental y de la ciencia del cerebro.

El arte es un reflejo fiel del entorno sociocultural en que se desarrolla. De acuerdo con ello, el modo en que la ficción cinematográfica representa las posibilidades reales o imaginarias que la ciencia abre a la manipulación del cerebro ha evolucionado paralelamente a los avances tecnológicos. En la ficción actual, la lectura mental, el robado de recuerdos y la implantación de ideas y actitudes a través de tecnologías limpias e indoloras han sustituido al *electroshock* y las burdas intervenciones quirúrgicas. Nuevos mitos de la cultura de masas como *Matrix*, *Minority Report* o *Bourne Identity*, clásicos ya de la ciencia-ficción cinematográfica, han sabido reflejar acertadamente el espíritu de los tiempos, proponiendo inquietantes mundos futuros regidos por formas de manipulación mental inspiradas en los últimos avances tecnológicos. Aunque aún estamos lejos de habitar un entorno tan poco deseable, el avance imparable de las ciencias del cerebro permite vislumbrar posibilidades hasta ahora impensables que mueven por igual a la inquietud y la fascinación. ¿Es posible alterar artificialmente el funcionamiento del cerebro usando métodos limpios y no invasivos que permitan mejorar nuestras capacidades mentales?, ¿puede el desarrollo de la tecnología cerebral ayudar a resolver problemas médicos hasta ahora intratables?, ¿será la ciencia capaz de descifrar los códigos del lenguaje neuronal de modo que sea posible acceder fácilmente a los pensamientos ajenos?, ¿será posible algún día borrar del cerebro recuerdos indeseados o implantar en sus circuitos nuevas actitudes y creencias? Por fantásticas que puedan resultar estas conjeturas, lo cierto es que los últimos avances de la neurociencia permiten anticipar posibles usos (y abusos) de un conocimiento cada vez más certero de la lógica profunda del funcionamiento cerebral.

2. Sospechosos habituales: lobotomía, electroshock, farmacología

La lobotomía o leucotomía frontal fue desarrollada en 1936 por el neurólogo portugués Egas Moniz con el fin de calmar la conducta agitada que acompaña a algunos trastornos psiquiátricos⁴³. En esta operación de neurocirugía se seccionaba parte de la sustancia blanca (de ahí la denominación de leucotomía) subyacente a los lóbulos frontales con el objetivo de interrumpir sus conexiones con otras regiones cerebrales. Según describe Antonio Damasio en su libro ya mencionado *El error de Descartes*, la aplicación de esta controvertida técnica mostró desde el primer momento beneficios limitados. Aunque los informes del propio Moniz indicaban cierta mejoría en la conducta de los pacientes, la operación tenía también serias consecuencias sobre su emocionalidad, motivación y comportamiento social. En años posteriores se pusieron en práctica versiones aún más radicales de esta intervención neuroquirúrgica, frecuentemente con efectos devastadores e irreversibles sobre los pacientes. La lobotomía frontal fue promovida fervientemente y aplicada a miles de pacientes por el neurólogo estadounidense Walter Freeman, alcanzando notable aceptación hasta que fue sustituida por los tratamientos psicofarmacológicos, que actualmente siguen constituyendo el enfoque terapéutico más común en el tratamiento de la enfermedad mental.

Igual que la lobotomía frontal, el tratamiento electroconvulsivo (TEC) es otro intento de intervención terapéutica en casos extremos. En la actualidad, el TEC se aplica bajo estricto control médico, principalmente en casos de depresión grave que no responden a otro tipo de terapia y que pueden conllevar riesgo de suicidio. El tratamiento, distribuido en varias sesiones, consiste en provocar bajo anestesia un rápido y pasajero incremento de la actividad cerebral mediante la aplicación de una corriente eléctrica a través de electrodos fijados al cuero cabelludo. Este tratamiento da origen a una mejoría significativa en un alto porcentaje de casos de depresión severa, y se ha aplicado también en condiciones como el trastorno bipolar o la esquizofrenia. Igual que la mayoría de los tratamientos médicos, el TEC tiene

efectos secundarios no deseados. Una observación común es la aparición de amnesia retrógrada (dificultad para recordar sucesos anteriores al tratamiento) y anterógrada (dificultad para realizar nuevos aprendizajes), que generalmente revierten con el tiempo.

Un serio problema de estos «sospechosos habituales» en el tratamiento de la enfermedad mental es la carencia de una base científica sólida que justifique su uso. Por ejemplo, Egas Moniz desarrolló la lobotomía frontal basado en el supuesto totalmente gratuito de que el comportamiento agitado de sus pacientes se debía a la hiperactividad de las conexiones entre la corteza frontal y otras regiones cerebrales. De modo similar, el TEC se ha venido aplicando desde hace años para el tratamiento de la depresión en ausencia de una comprensión cabal de sus mecanismos de acción. La evidencia más reciente apunta a que la inducción de convulsiones cerebrales fomenta la neurogénesis, es decir, el nacimiento de nuevas neuronas, en regiones cerebrales como el hipocampo y en la amígdala. De hecho, algunos estudios indican que el TEC produce un incremento en el volumen de estas estructuras cerebrales, aunque por el momento se desconoce cuál pueda ser la relevancia de estos efectos para explicar la eficacia terapéutica del tratamiento. Sin embargo, el importante papel de la amígdala en la reactividad emocional y sus conexiones con el hipocampo y con áreas cerebrales implicadas en el control de la experiencia y la conducta emocional sugieren que el TEC podría favorecer la actividad de sistemas cerebrales implicados en la regulación del estado de ánimo. Pero por ahora, éstas no son más que conjeturas para tratar de explicar la eficacia de un tratamiento cuyos mecanismos de acción son en gran parte desconocidos.

Lo dicho respecto al TEC puede aplicarse igualmente a los tratamientos farmacológicos. Aunque actualmente tenemos un conocimiento razonable del modo en que los psicofármacos empleados para tratar los trastornos de ansiedad, la depresión o la esquizofrenia actúan sobre el cerebro, lo cierto es que aún estamos lejos de comprender por qué son efectivos para mejorar la condición de los pacientes. Ni investigadores ni expertos clínicos han sido capaces de establecer claramente la relación entre los efectos neurobiológicos de los psicofármacos y su impacto positivo sobre la experiencia emocional, la conducta y el estado de ánimo. Al contrario de lo que ocurre en otras ramas de

la medicina, existe un notable desfase entre los métodos empleados para el tratamiento de la enfermedad mental y la comprensión de sus mecanismos psicológicos y neurobiológicos. Esto hace que la terapia mental tenga frecuentemente un fuerte componente de aprendizaje por ensayo y error hasta dar con el tratamiento apropiado para cada caso individual. Las nuevas técnicas terapéuticas derivadas de los avances en neurotecnología, aún en fase de prueba, tampoco se libran de estas dificultades. Esta situación poco halagüeña refleja nuestras dificultades actuales para traducir los descubrimientos de la neurociencia a tratamientos que mejoren la condición de los pacientes. En cualquier caso, no hay que olvidar que por limitados que sean sus resultados y por incompleta que sea la comprensión de sus mecanismos, las herramientas terapéuticas actualmente disponibles han supuesto un enorme avance en el tratamiento de la enfermedad mental, mejorado sustancialmente la vida de los pacientes psiquiátricos y liberándoles del internamiento de por vida, el ostracismo social y la camisa de fuerza. La crítica según la cual la terapia farmacológica no hace más que encerrar a los pacientes psiquiátricos en una «camisa de fuerza química» ignora el sufrimiento que los psicofármacos han evitado a personas afectadas por trastornos depresivos graves o la posibilidad que han brindado a pacientes esquizofrénicos de llevar una vida social razonablemente adaptada.

Uno de los objetivos de la investigación psicofarmacológica es el de crear compuestos cada vez más precisos y selectivos, es decir, que actúen de forma más rápida, eficaz y exclusiva sobre sus dianas neuronales. Un ejemplo bien claro lo encontramos en la historia del desarrollo de los fármacos empleados en el tratamiento de la depresión. Teorías de muy distinto tipo, desde las imaginativas elaboraciones del psicoanálisis a la perspectiva racionalista de la psicología cognitiva, han intentado explicar el origen y naturaleza de los trastornos depresivos. Desde otro punto de vista no necesariamente excluyente, clínicos e investigadores de orientación biológica han propuesto explicaciones basadas en la alteración de la neuroquímica cerebral, la más aceptada de las cuales es la hipótesis de las monoaminas, un grupo de compuestos químicos que actúan como neurotransmisores en el cerebro. A partir de una abundante evidencia clínica y experimental, esta hipótesis supone que el origen de la depresión se halla en un funcionamiento deficitario de la

neurotransmisión basada en esos compuestos. Más concretamente, el cerebro de las personas depresivas se caracterizaría por un nivel anormalmente reducido de neurotransmisores como la serotonina, que interviene en la comunicación neuronal en sistemas cerebrales implicados en la regulación del estado de ánimo. Una observación coherente con esta hipótesis es que en análisis *post mortem* se ha observado un reducido nivel de serotonina en el cerebro de suicidas con diagnóstico previo de depresión. Esto explica que la mayoría de los fármacos antidepresivos estén orientados a promover la neurotransmisión monoaminérgica, prolongando la acción de la serotonina en las sinapsis y mejorando así el funcionamiento de los sistemas cerebrales correspondientes. Desde el descubrimiento casual de la acción antidepresiva de estos fármacos en la década de 1950 (los investigadores estaban en realidad probando la eficacia de fármacos para combatir la tuberculosis), la investigación y la industria farmacéutica están empeñadas en la búsqueda de compuestos cada vez más eficaces y selectivos. En la década de 1980 se aprobó en Estados Unidos el uso de un nuevo tipo de compuestos, los inhibidores selectivos de la recaptación de la serotonina (ISRS), como la fluoxetina, el popular Prozac®, que de forma mucho más selectiva logra prolongar la acción de la serotonina en las sinapsis.

3. Neuromodulación: nuevos métodos de intervención cerebral

El término «neuromodulación», actualmente en boga, hace referencia a la alteración de la actividad cerebral por distintos medios físicos, sean eléctricos, químicos, electromagnéticos o de otro tipo. Fomentar, inhibir, regular o modificar de algún modo la actividad cerebral, generalmente de forma reversible y no invasiva, son los objetivos tanto de los tratamientos tradicionales como de otros más recientes basados en la aplicación de los últimos avances tecnológicos al estudio del cerebro. El objetivo: influir en la conducta o la experiencia subjetiva del paciente con fines terapéuticos o de investigación. En una cara de la moneda, el desarrollo de estas

«neurotecnologías» puede finalmente traducirse en terapias más eficaces para el tratamiento de una amplia variedad de trastornos mentales y en una mejor comprensión del funcionamiento de la mente humana. En la otra, estos avances nos hacen vislumbrar posibilidades inquietantes, como la lectura de la mente ajena y el control del pensamiento, que hasta ahora pertenecían en exclusiva al terreno de la ficción.

¿Es realmente posible modificar desde el exterior el funcionamiento del cerebro de un ser humano? Sin duda, y esto es lo que deliberadamente vienen haciendo de uno u otro modo todas las terapias que ejercen algún beneficio demostrable sobre los trastornos neurológicos, psicológicos o psiquiátricos. No es posible pensar en una intervención neurológica o psicoterapéutica eficaz que no altere de forma más o menos transitoria el funcionamiento cerebral. De hecho, la evidencia más reciente ha demostrado la presencia de cambios significativos y duraderos en la actividad cerebral no sólo como consecuencia de las terapias «físicas», sino también en respuesta a tratamientos psicológicos que no intervienen directamente sobre la actividad cerebral. Por ejemplo, se ha demostrado que el tratamiento de la depresión mediante técnicas de la terapia cognitivo-conductual mejora las capacidades de regulación emocional del paciente y al mismo tiempo da origen a un incremento en la actividad de sistemas de la corteza frontal implicados en el control de las emociones. En los últimos años, han aparecido nuevas técnicas basadas en los avances de la tecnología y la neurociencia que permiten actuar de forma directa sobre la actividad cerebral con fines terapéuticos. Si queremos evitar las connotaciones negativas del término «manipulación», que evoca la intrusión en las mentes ajenas con intenciones malévolas, podemos en estos casos cambiarlo por el más neutro de «alteración» o el aún más apropiado y técnico de «neuromodulación».

Estimulación cerebral profunda

Una de las técnicas de neuromodulación más conocidas es la estimulación cerebral profunda (ECP o DBS, del inglés *Deep Brain Simulation*). Esta técnica se viene aplicando con éxito en el tratamiento de problemas como la

enfermedad de Parkinson, sustituyendo casi por completo a las mucho menos precisas e irreversibles operaciones de neurocirugía. Como es bien sabido, el Parkinson es una enfermedad neurológica cuya principal manifestación es un severo trastorno de la conducta motora. La ECP se administra a través de electrodos implantados en la profundidad del cerebro que emiten pulsos de estimulación eléctrica cuidadosamente pautada en cuanto a su amplitud y frecuencia. Con el fin de evitar los temblores característicos de los enfermos de Parkinson y mejorar su capacidad motora, los electrodos de estimulación son implantados en distintos puntos de los ganglios basales y el sistema estriado, un conjunto de núcleos situado en la base del cerebro y que desempeña un papel esencial en el control y programación de la conducta motora. La ECP actúa modulando la actividad de este sistema, facilitando el flujo sanguíneo, promoviendo la neurotransmisión y normalizando la actividad neuronal y la interacción con diferentes regiones de la corteza cerebral. La ECP se viene también aplicando con cierto éxito para el tratamiento de los síntomas motores del trastorno obsesivo-compulsivo (TOC), que se caracteriza por la aparición de ideas repetitivas y rituales motores automatizados que el paciente no es capaz de controlar. Más recientemente, la ECP ha comenzado a aplicarse como tratamiento alternativo de pacientes depresivos que no responden a otro tipo de terapias.

Estimulación magnética transcraneal

La estimulación magnética transcraneal (EMTC o TMS, del inglés *Transcranial Magnetic Stimulation*) es otra técnica no invasiva de estimulación cerebral que se ha utilizado en los últimos años con fines tanto clínicos como de investigación. La EMTC es considerada como una técnica segura, sin efectos secundarios de importancia y cuya aplicación no produce molestias significativas al paciente o sujeto experimental. En esta técnica, basada en el principio de inducción electromagnética descubierto por Faraday, se induce un flujo de corriente eléctrica en el cerebro a través de una bobina en forma de ocho colocada junto a la cabeza del paciente o sujeto experimental. La corriente eléctrica generada en la bobina crea un campo

magnético que produce por inducción un flujo de actividad eléctrica en la zona del cerebro situada bajo ella. Al ser aleatoria, esta actividad inducida artificialmente actúa como una especie de «ruido» neuronal, interrumpiendo momentáneamente la actividad cerebral en curso. La EMTC tiene efectos conductuales y cognitivos que dependen de la zona cerebral estimulada. Por ejemplo, la estimulación aplicada sobre la zona correspondiente a la corteza motora mientras el sujeto trata de seguir la instrucción de agarrar un determinado objeto impide o dificulta la realización de la acción correspondiente. En cambio, la estimulación aplicada en las zonas correspondientes a los sistemas corticales implicados en el habla y el lenguaje hace que el sujeto cometa errores involuntarios al nombrar objetos o que sea incapaz de articular una palabra. Por esto se dice que la EMTC produce una especie de lesión cerebral «virtual» transitoria: altera la conducta sin provocar daño alguno al tejido cerebral y sus efectos desaparecen a los pocos instantes de interrumpirse la estimulación. Esto explica el interés de muchos investigadores por utilizar esta técnica como herramienta para determinar las funciones de distintas regiones y sistemas cerebrales en personas sanas.

Hasta ahora, cuando se quería establecer el papel de una región cerebral en una determinada función cognitiva era necesario recurrir a las técnicas de lesión en animales experimentales o al estudio neuropsicológico de pacientes que habían sufrido algún tipo de daño cerebral. Estudiando el comportamiento de los animales lesionados o evaluando la actuación de los pacientes en distintas pruebas conductuales se lograba establecer la correlación entre regiones cerebrales y funciones cognitivas. Si una rata de laboratorio cuyo hipocampo ha sido lesionado no logra encontrar la salida de un laberinto, inferimos que esta estructura cerebral debe tener algún papel en la orientación o la memoria espacial. Del mismo modo, si un paciente con daño cerebral que afecta a los lóbulos frontales se muestra anormalmente eufórico y desinhibido, sin valorar las consecuencias de sus actos, suponemos que la lesión ha interferido la actividad de las redes neuronales de las que dependen las capacidades inhibitorias y de autocontrol. Pero uno de los problemas de los estudios neuropsicológicos es que las lesiones rara vez son «limpias» y afectan a zonas circunscritas del cerebro, de forma que no es fácil reunir un grupo suficientemente representativo de pacientes con características

similares.

Debido a su buena resolución espacial (es decir, la precisión con que se puede determinar cuál es la región cortical activada), la EMTC proporciona una evidencia más convincente que los estudios neuropsicológicos sobre la relación causal entre la actividad de diferentes sistemas cerebrales y funciones cognitivas como el control motor, la producción del habla o la percepción visual. Los efectos de la EMTC dependen estrechamente de factores como la frecuencia de los impulsos, la duración de la estimulación o el momento preciso en que se aplica. Dependiendo de estos factores, la EMTC puede en unos casos interferir la actividad cerebral en curso y favorecer en otras funciones como la atención, la memoria o el aprendizaje de nuevas habilidades. De hecho, actualmente se está ensayando la posible utilidad de la EMTC en el tratamiento de algunos trastornos psiquiátricos o como ayuda para la rehabilitación de pacientes con daño cerebral.

El estado y las intenciones del sujeto en el momento preciso de la estimulación determinan cuáles son los efectos concretos de la EMTC. Un ejemplo ilustrativo lo proporcionan los estudios sobre la estimulación de la región de la corteza motora, la región cortical encargada del control y programación de los movimientos voluntarios. La sola intención de realizar un movimiento como abrir o cerrar la mano provoca un incremento de la actividad neuronal en esta zona. Si la corteza motora es estimulada mientras el sujeto intenta realizar un movimiento, esa actividad neuronal se verá interferida y el movimiento no llegará a producirse. Por el contrario, si el sujeto no tiene la intención de realizar ningún movimiento, esa misma estimulación activará la corteza motora hasta el punto de que pueden llegar a observarse contracciones musculares en la mano contralateral al hemisferio estimulado (por ejemplo, la mano derecha si la estimulación se aplica en el hemisferio izquierdo). La estimulación externa de una región del cerebro hace que la mano responda como si su propietario pretendiese moverla voluntariamente.

La EMTC aplicada en zonas correspondientes a los sistemas de análisis perceptivo provoca llamativos efectos sensoriales que dependen igualmente del estado del sujeto en ese momento dado. Si se coloca el estimulador sobre la nuca, en la zona correspondiente a la corteza visual primaria, mientras se

presenta una imagen en la pantalla del ordenador, el sujeto puede no percibirla en absoluto, como si experimentase una ceguera transitoria. Sin embargo, la estimulación en ausencia de imágenes externas puede hacer que el sujeto pueda ver pequeñas manchas o fosfenos o experimentar «lagunas» ciegas en su campo visual. Aunque estas observaciones nos hagan pensar en la posibilidad de controlar el cerebro para hacernos ejecutar acciones no deseadas o incluso tener alucinaciones visuales, lo cierto es que la acción de la EMTC no es suficientemente específica como para producir tales efectos. La EMTC, igual que otras técnicas de neuroestimulación, modula el funcionamiento cerebral de modo relativamente inespecífico y no puede producir los precisos patrones de actividad neuronal necesarios para hacer que el sujeto que la recibe ejecute involuntariamente acciones organizadas o tenga experiencias perceptivas complejas como ver un paisaje campestre.

Estimulación eléctrica transcraneal

Una última técnica de neuromodulación muy popular en los últimos años es la estimulación eléctrica transcraneal (EETC o, en inglés, tDCS —*Transcranial Direct Current Stimulation*—). Se trata de una técnica no invasiva consistente en la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad (0.5-2.0 mA) a través de dos electrodos (un ánodo y un cátodo) colocados en distintas localizaciones sobre el cuero cabelludo. El campo eléctrico generado logra alterar la actividad neuronal en la zona cerebral subyacente en formas que, dependiendo de los parámetros de estimulación, pueden resultar en la facilitación o inhibición de la excitabilidad cortical. Por supuesto, dependiendo de la zona de aplicación, la función afectada y los efectos observables sobre la conducta varían por completo. Igual que otras técnicas de neuromodulación, la EETC se viene empleando con fines tanto clínicos como de investigación. En un desarrollo menos deseable, la EETC se ha popularizado entre el público general y en la actualidad un creciente número de usuarios particulares emplean aparatos disponibles comercialmente con el fin de mejorar su rendimiento mental a través de la estimulación del cerebro. Sin embargo, actualmente no hay garantía alguna de que el uso privado de las

técnicas de neuromodulación sin supervisión médica sea eficaz o incluso produzca efectos indeseados.

4. ¿Rumbo a los superpoderes mentales?

Una nota preventiva

Estudios de laboratorio en los que su administración se verifica de forma precisa y controlada han demostrado que las técnicas de neuromodulación favorecen la transmisión neuronal y fomentan la plasticidad, alterando temporalmente el funcionamiento de distintos sistemas cerebrales y produciendo una leve mejoría de funciones cognitivas como el razonamiento, la atención o la memoria. Pero, como ocurre a menudo con los avances de la ciencia del cerebro, al llegar a la sociedad los hallazgos de la ciencia básica han sido magnificados y mal interpretados. Medios de comunicación y comerciantes interesados han contribuido a difundir la creencia de que las nuevas técnicas de estimulación cerebral son un medio casi milagroso para la mejora cognitiva en la vida real. Aumentar la capacidad de la memoria inmediata, mejorar la concentración o acelerar el aprendizaje de nuevas destrezas son algunos de los beneficios que se han sugerido.

A pesar de algunas proclamas en exceso triunfalistas, lo cierto es que en la actualidad aún no se conocen bien los efectos fisiológicos de las técnicas de neuromodulación sobre el cerebro ni cuál pueda ser su impacto a largo plazo sobre funciones cognitivas como la atención o la memoria. Algunos investigadores incluso han advertido de posibles efectos indeseados de su aplicación no controlada. Dada la rica interconexión de los distintos sistemas cerebrales, no es posible garantizar que la estimulación de una determinada zona afecte de forma exclusiva al área o función deseada, por lo que la mejora de una determinada función puede tener efectos impredecibles, positivos o negativos, sobre otras. Por otra parte, el uso privado y no supervisado suele producirse en condiciones que aumentan aún más la incertidumbre acerca de los posibles efectos de la estimulación.

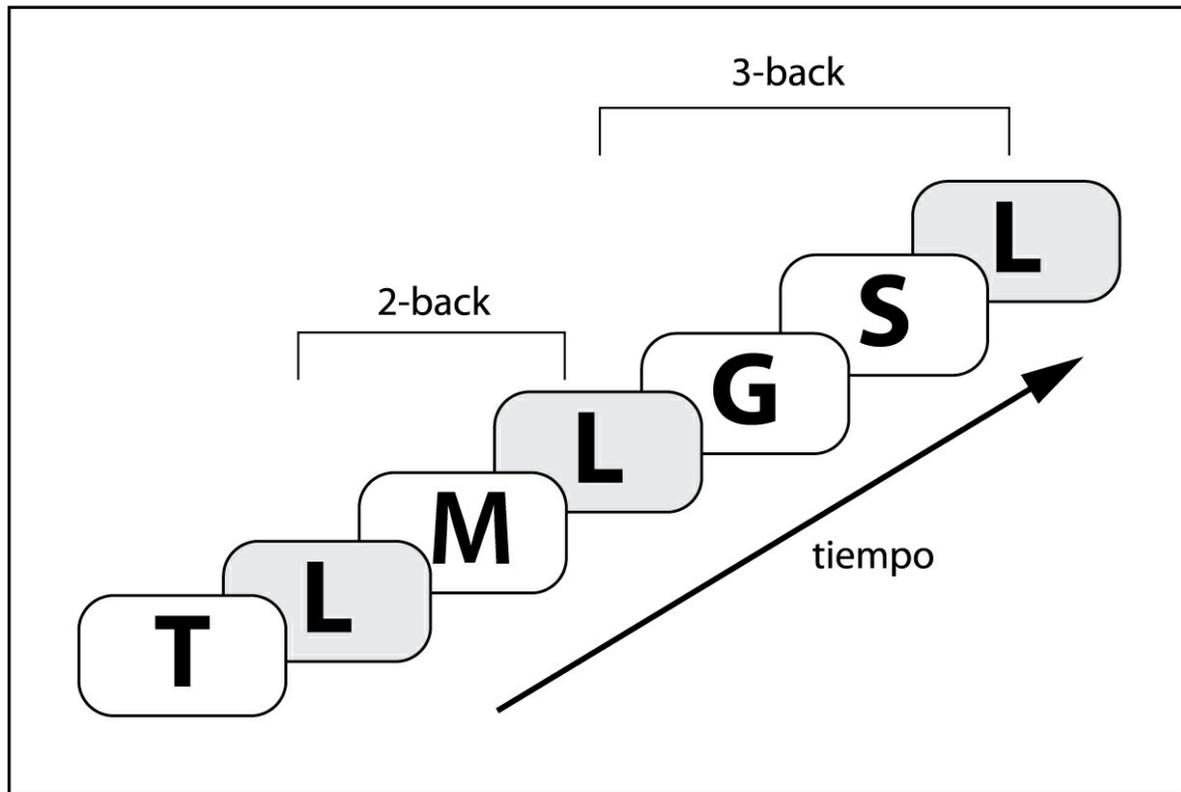
A la hora de evaluar la eficacia y conveniencia de las técnicas de neuromodulación debería tenerse en cuenta cuál es la finalidad de su uso. Como herramientas para el estudio del cerebro, es indudable que proporcionan al investigador la posibilidad de adentrarse en su dinámica y poner a prueba hipótesis que pueden llevarnos a un mejor conocimiento del funcionamiento de la mente humana. Desde el punto de vista clínico, estas técnicas merecen ser estudiadas y puestas a prueba porque pueden suponer un avance en el tratamiento de pacientes refractarios a otros enfoques terapéuticos. Sin embargo, dado su carácter aún experimental, su uso libre y no supervisado como herramientas caseras para la mejora cognitiva no resulta justificado y puede tener efectos indeseados. Por ejemplo, la popularidad de la EETC entre el público general y los entusiastas mensajes publicitarios de las compañías que comercializan estimuladores para uso casero contrastan con la escasa evidencia sobre su eficacia como método para lograr efectos de mejora cognitiva que tengan un impacto significativo en la vida diaria.

En busca de la evidencia

Pero ¿hay alguna evidencia científica de que las nuevas técnicas de estimulación cerebral sean eficaces para mejorar el funcionamiento del cerebro? Uno de los ejemplos más investigados es el de la memoria operativa, es decir, la capacidad para mantener activa en la conciencia información reciente con el fin de afrontar tareas como la lectura, el cálculo mental o el razonamiento lógico. Quizá una de las razones que explican el interés por estudiar los posibles beneficios de la estimulación cerebral sobre la memoria operativa es su estrecha relación con la capacidad intelectual general. De hecho, hay indicios de que el entrenamiento intensivo en tareas de memoria operativa puede favorecer el desarrollo de algunas formas de inteligencia, como la inteligencia fluida, es decir, la capacidad para razonar y resolver problemas con soluciones alternativas y no condicionadas por el conocimiento previo. Si el entrenamiento de la memoria operativa se traduce en un mejor rendimiento intelectual, ¿no sería posible conseguir un efecto similar a través del atajo de la estimulación cerebral?

Una de las pruebas típicas para la evaluación de la memoria operativa es la tarea «N-back» (algo así como «N elementos hacia atrás»). En esta tarea se presentan uno a uno letras o números en la pantalla de un ordenador. La tarea del sujeto es indicar, pulsando una tecla, si el elemento que aparece en la pantalla es igual al aparecido N elementos antes. Por ejemplo, en la serie de letras T-L-M-L-G-S-L, la tarea 2-back consistiría en responder después de la segunda aparición de la letra «L», que es la misma letra que apareció dos elementos antes. La tarea 3-back sería algo más difícil. En este caso, habría que responder a la tercera «L» (la misma letra apareció tres elementos antes). Al aumentar el valor de N se incrementa la carga de memoria, forzando la capacidad limitada del sistema de memoria inmediata. Pero la tarea N-back implica algo más que el uso de la memoria inmediata o de corto plazo. Una buena ejecución requiere funciones adicionales, como la atención mantenida o la continua actualización de la información presente en la conciencia. Por ello, se considera que la tarea N-back proporciona un buen índice no sólo de la capacidad de la memoria inmediata (cuántos elementos recientes pueden mantenerse activos en la memoria), sino también de las funciones más complejas de control ejecutivo. A nivel cerebral, la ejecución de la tarea N-Back va acompañada de un incremento de la actividad en redes neuronales de las cortezas prefrontal y parietal que constituyen el substrato neurobiológico de la memoria operativa y del sistema de control ejecutivo.

FIGURA 1



Tarea N-back empleada para estudiar la memoria operativa. En la pantalla del ordenador van apareciendo una serie de letras presentadas durante un breve espacio de tiempo. El sujeto debe pulsar una tecla para indicar que el elemento-diana («L» en este caso) ha aparecido dos elementos antes (tarea 2-back) o 3 elementos antes (tarea 3-back).

Varios estudios han presentado datos que indican que la EETC aplicada en la zona correspondiente a la corteza prefrontal izquierda mejora significativamente la actuación en la tarea N-back en personas sanas. Estos efectos se han observado cuando la estimulación se administra en el momento de realización de la tarea y durante un periodo posterior de hasta treinta minutos. Este último resultado abre la posibilidad de que en el futuro se puedan emplear técnicas no invasivas de neuroestimulación para modular la actividad cerebral a largo plazo. Quizá más importante: algunos resultados indican que la EETC también mejora la actuación de pacientes que manifiestan déficits cognitivos debidos a patologías como el infarto cerebral o la enfermedad de Parkinson, además de en personas mayores que comienzan a mostrar signos de declive intelectual debidos a la edad.

Además de los efectos de mejora intelectual, algunos estudios han

demostrado que la estimulación cerebral en personas sanas puede acelerar el aprendizaje de nuevas destrezas motoras, especialmente en personas de edad avanzada. Datos sobre los efectos beneficiosos de la neuroestimulación se han reportado también para el aprendizaje del lenguaje, la memoria verbal, el cálculo mental e incluso el control y reducción de pensamientos negativos sobre uno mismo. Sin embargo, también hay voces críticas que han puesto en duda la fiabilidad de estos resultados. Un artículo de revisión publicado en 2015, que analizaba los resultados de 59 estudios previos sobre los efectos de la EETC en personas sanas, concluyó que en ninguno de ellos se había logrado demostrar convincentemente su eficacia para mejorar funciones relacionadas con el lenguaje, la memoria o el control ejecutivo. Aún más, una segunda revisión acerca de sus efectos sobre la neurofisiología cerebral reveló que sólo uno de varios índices neurofisiológicos propuestos (la modulación de la amplitud de los potenciales musculares evocados en las extremidades) es alterado de modo fiable y efectivo por la EETC, lo que plantea un serio interrogante sobre los mecanismos en que se basan sus efectos.

Pero la polémica continúa. Estudios más recientes sobre los efectos de la estimulación cerebral sí parecen indicar un incremento selectivo de la excitabilidad cortical en redes neuronales específicamente implicadas en distintas tareas. Concretamente, un efecto así se ha demostrado en distintos puntos de la corteza frontal durante la ejecución de una tarea de fluidez verbal. Esta prueba de fluidez verbal consiste en pedirle al sujeto que durante un tiempo limitado diga el mayor número posible de palabras que comiencen por una determinada letra o que pertenezcan a una misma categoría semántica (p. ej., animales cuadrúpedos). En el estudio en cuestión, la EETC aplicada durante un periodo de veinte minutos aumentó significativamente el número de palabras producidas al tiempo que incrementaba la excitabilidad de regiones frontales implicadas en la producción del habla, como el área de Broca. Es más, la mejora en fluidez fue proporcional al incremento registrado en la excitabilidad cortical, lo que sugiere una relación causal entre ambas. Resultados como éste son prometedores y permiten concebir esperanzas en la futura utilidad de las técnicas de neuromodulación para la rehabilitación de funciones cognitivas alteradas por distintas formas de daño cerebral o por trastornos neurodegenerativos como la enfermedad de Alzheimer. Sin

embargo, el uso generalizado de estas técnicas como medio para otorgarnos superpoderes mentales fuera del alcance de un cerebro normal parece quedar aún muy lejos. Por lo general, los efectos de mejora cognitiva demostrados experimentalmente son muy modestos y tienen una duración limitada, algo muy distinto a los cambios milagrosos prometidos en páginas web y folletos comerciales. No es probable, por tanto, que unas cuantas sesiones caseras de autoestimulación vayan a convertirnos en seres dotados de una inteligencia privilegiada o una memoria inmune a los efectos del envejecimiento o el olvido.

5. Leer la mente: neuroprótesis y espionaje mental

¿Cómo se lee la mente?

Obras de misterio y ciencia-ficción han elucubrado con la capacidad de algunas personas para acceder a las mentes de sus semejantes, leyendo sus pensamientos y deseos como si se tratase de un libro abierto. Presente en el imaginario popular se halla también el mito de la comunicación mental a distancia entre personas unidas por estrechos lazos afectivos. La idea de lectura mental que aquí nos ocupa es distinta a esa comunicación por telepatía, fenómeno que según define el *Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española* consiste en «la transmisión de contenidos psíquicos entre personas, sin intervención de agentes físicos conocidos». Aquí exploraremos otra forma más realista, aunque menos llamativa, de acceder a las mentes ajenas, eso sí, apoyada, de momento, en dispositivos creados por el hombre. Se trata de la inferencia de estados mentales a partir de los datos objetivos proporcionados por medidas fisiológicas como las derivadas del registro electroencefalográfico (EEG). Es una forma de lectura mental indirecta en la que quien accede a una mente ajena no es otro ser humano sino una máquina. Para ser más exactos, lo que la máquina lee no son pensamientos, sino los correlatos físico-químicos de los mismos. Esta forma de lectura mental indirecta requiere acceder a esos procesos y, lo que resulta bastante más

complicado, decodificarlos para extraer su significado. En los últimos años se han logrado notables avances en las tecnologías de lectura mental y, lo que es más importante, esos avances han comenzado a aplicarse para mejorar la condición de personas que han tenido la desgracia de sufrir alguno de los síndromes neurológicos que llevan a una paralización casi total que las impide comunicarse con sus semejantes.

El principal problema que debe resolver un sistema artificial de lectura mental es descifrar el lenguaje del cerebro, por ejemplo, identificar qué patrones concretos de actividad neuronal están asociados a la intención de levantar la mano o desplazar un cursor en la pantalla del ordenador. Dado que no es posible acceder directamente a la experiencia subjetiva de otra persona, ver las mismas imágenes, experimentar las mismas sensaciones olfativas o tener los mismos pensamientos, la única posibilidad de conectar con su mente es hacerlo a través de la actividad física de su cerebro mientras ve, siente o piensa. Lo que la máquina registra son las señales procedentes de esa actividad, no la experiencia subjetiva del sujeto de cuyo cerebro procede. La actividad cerebral, registrada mediante dispositivos externos como los electrodos del gorro EEG, debe ser interpretada o decodificada para extraer su significado, reconstruyendo así las intenciones del sujeto, las imágenes que está percibiendo o, más difícil aún, las ideas que van surgiendo en su mente. Romper el código neuronal y descifrar sus regularidades es lo que permite establecer la correspondencia entre los diferentes patrones de actividad cerebral y las correspondientes experiencias subjetivas, en suma, traducir del lenguaje cerebral al lenguaje cognitivo. Esto es posible porque distintos estados mentales, como por ejemplo tener la intención de levantarse de la silla frente a la de beber un vaso de agua o ver una cara humana frente a ver un paisaje, se corresponden con distintos estados cerebrales. Es más, el solo hecho de imaginar mentalmente una acción sin llegar a realizarla produce un patrón de actividad neuronal similar al que se produciría si la acción llegase realmente a ejecutarse. Esto es lo que finalmente permite «leer» las intenciones del sujeto a través de la observación de su actividad cerebral.

Un cerebro conectado a una máquina

Actualmente, las técnicas no invasivas para la medida de la actividad cerebral proporcionan una valiosísima herramienta a la hora de establecer la correspondencia entre estados mentales y estados cerebrales. Uno de los problemas con que se enfrentan los investigadores es la baja resolución temporal de algunas de estas técnicas, lo que impide seguir momento a momento los rápidos cambios de actividad que tienen lugar en el cerebro. Éste es el caso de la resonancia magnética funcional (RMf), la técnica de neuroimagen más popular en la actualidad. Aunque posee una alta resolución espacial y permite identificar con precisión milimétrica el lugar de donde procede la actividad neuronal, la resolución temporal de esta técnica no es suficiente como para captar la rápida dinámica de los procesos cerebrales. Esto se debe a que la RMf se basa en la comparativamente lenta respuesta hemodinámica, es decir, los cambios en el flujo sanguíneo y metabolismo cerebral concomitantes a la actividad mental.

Cuando se quiere seguir la actividad cerebral momento a momento, la encefalografía (EEG) es la técnica más adecuada. Su excelente resolución temporal la convierte en una herramienta ideal para seguir en tiempo real el rápido curso del procesamiento cognitivo. Muchos estudios con la técnica EEG registran los así llamados «potenciales evocados» o «potenciales relacionados a eventos», es decir, las pequeñas alteraciones de voltaje que surgen en respuesta a la estimulación externa o en correspondencia con distintas conductas, pensamientos o intenciones. Una forma aún más precisa de seguir en directo la actividad cerebral es registrar directamente la actividad neuronal mediante electrodos implantados en la propia corteza. Esta técnica, denominada electrocorticografía (ECoG), se emplea usualmente en operaciones de neurocirujía con pacientes que padecen epilepsia.

A pesar de las enormes dificultades técnicas que plantea la decodificación de la actividad del cerebro, en los últimos años se han registrado importantes avances en un área aplicada que se basa precisamente en ese requisito. Se trata de la implementación de intercambiadores o *interfaces* entre cerebro y ordenador para uso en pacientes con síndromes neurológicos de paralización. Estos dispositivos actúan como una extensión del cuerpo del paciente que éste aprende a controlar con su cerebro de modo no muy distinto al que antes empleaba para controlar el movimiento de sus extremidades. De ahí el nombre

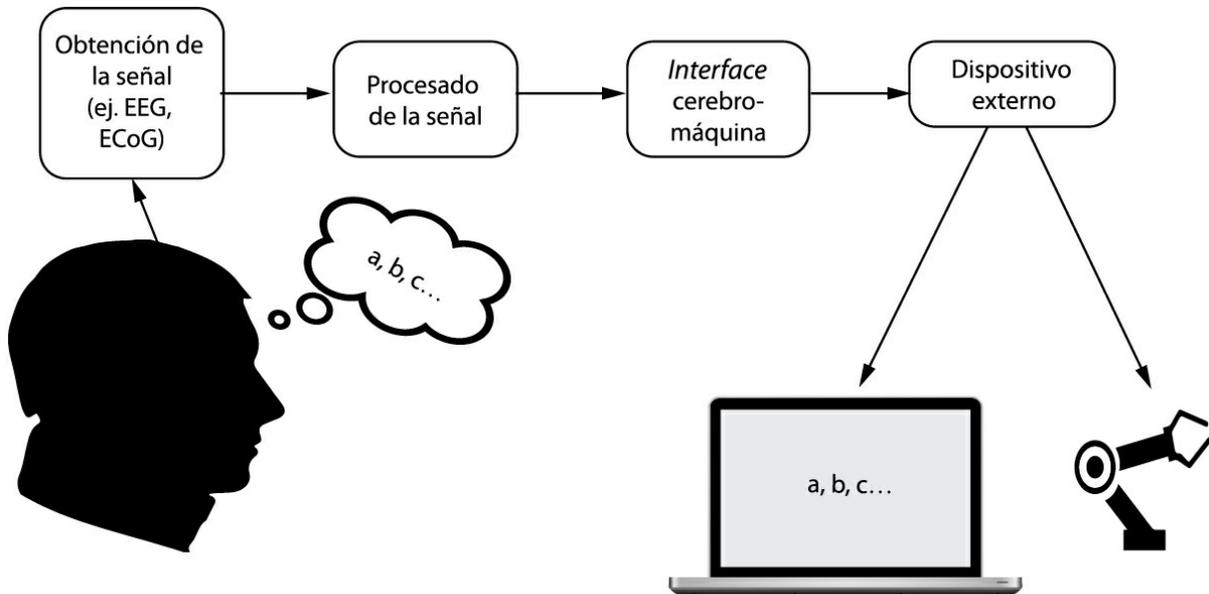
de «neuroprótesis» o «prótesis cognitivas» que a veces se da a estos sistemas que permiten de modo sustitutorio la comunicación entre el cerebro y el mundo exterior.

El desarrollo de los *interfaces* cerebro-ordenador para uso en pacientes humanos ha sido posible gracias a los ensayos previos realizados en otros primates. Estudios con monos han demostrado que es posible enseñar al animal a mover con el pensamiento un brazo robótico con el fin de conseguir comida. El brazo robótico actúa como una especie de «periférico», mientras que el cerebro del animal es el ordenador central que lo controla. Algo no muy diferente, en realidad, a lo que ocurre cuando el cerebro envía órdenes de movimiento a los brazos. Esta aparente hazaña de ciencia ficción requiere un entrenamiento intensivo que por una parte le permite al animal aprender a manipular el periférico y por otra da a los investigadores la información suficiente para extraer de la infinidad de datos generados durante el entrenamiento el patrón de actividad cerebral que acompaña a la concreta intención de accionar el artilugio externo. Para lograr esto, durante el entrenamiento se registra la actividad cerebral del animal mediante electrodos implantados en la corteza motora primaria, de donde parten las órdenes para mover las extremidades.

Métodos similares a los utilizados en las demostraciones con animales se han aplicado en seres humanos empleando métodos no invasivos de registro cerebral y consiguiendo mediante un entrenamiento prolongado el control mental de dispositivos complejos. Un notable ejemplo procede de un estudio publicado en 2013, en el que se logró entrenar a personas sanas para que controlasen mediante el pensamiento un robot volador. Este estudio supone un importante avance porque, en comparación con otros en los que los participantes aprenden simplemente a mover un cursor sobre la pantalla del ordenador, demuestra la posibilidad de controlar mentalmente dispositivos complejos en un espacio tridimensional.

FIGURA 2

Comunicación cerebro-máquina



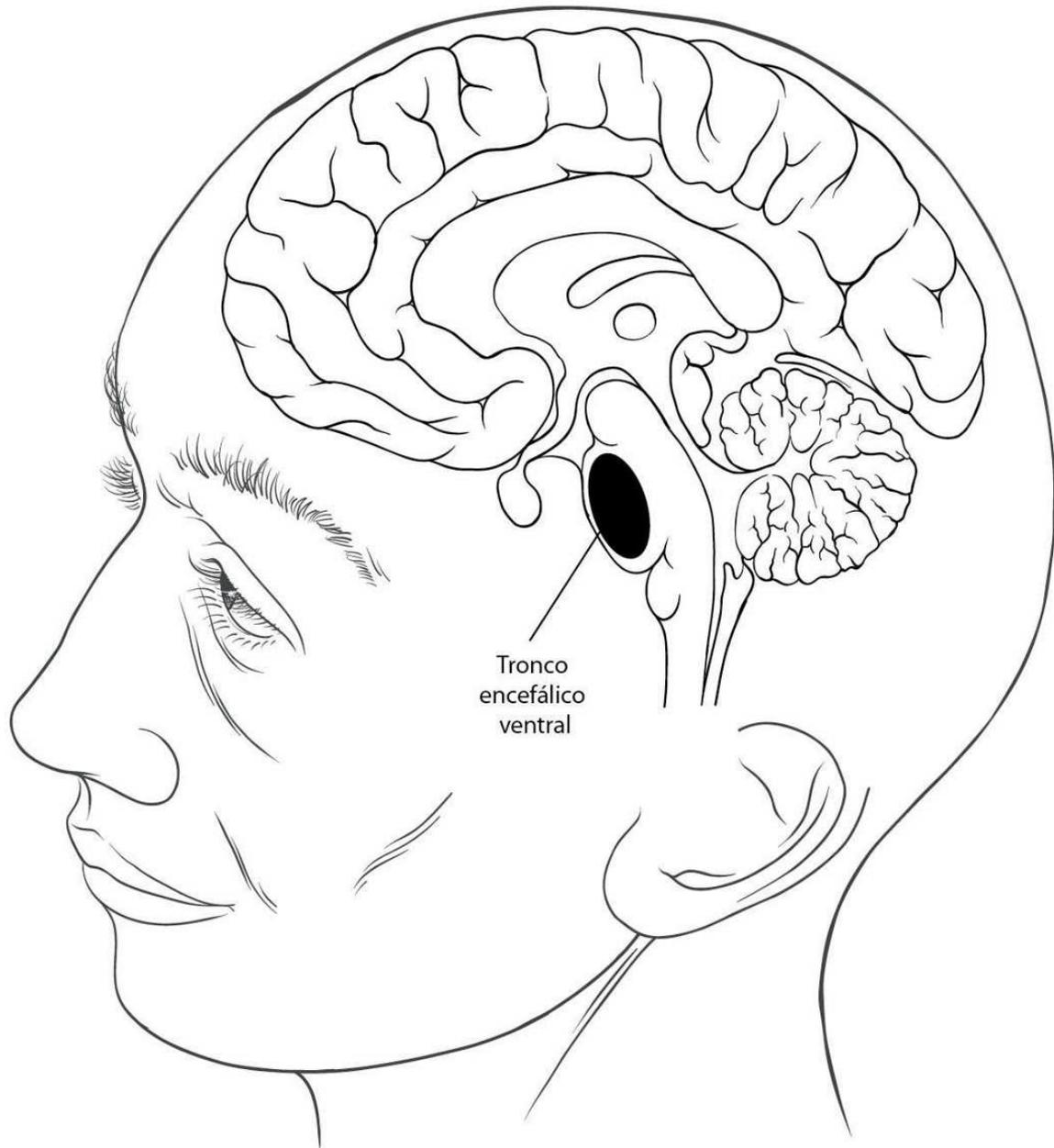
Esquema del procedimiento para la comunicación cerebro-máquina. Un ordenador o un brazo robótico son controlados con el pensamiento a través del registro y decodificación de la actividad neuronal correspondiente.

La tecnología de comunicación cerebro-ordenador se viene empleando de modo experimental en la rehabilitación de pacientes con síndromes de paralización debidos a lesiones del sistema nervioso central causadas por traumatismos o infartos cerebrales. Estas lesiones afectan a zonas específicas del tronco encefálico, una intrincada colección de núcleos y vías nerviosas que conecta la médula espinal con el cerebro propiamente dicho. Diversos núcleos del tronco encefálico desempeñan una función esencial en el control de las principales funciones vitales. Por otra parte, el tronco encefálico es atravesado por las vías nerviosas que comunican el cerebro con el resto del cuerpo en ambas direcciones, es decir, las vías motoras que permiten el control de las extremidades (vías eferentes) y las vías que transmiten información desde el cuerpo hasta el cerebro (vías aferentes). La lesión de una región específica localizada en la zona ventral del tronco encefálico, debida a oclusión arterial o a traumatismo craneoencefálico, da origen a una terrible y rara condición conocida como síndrome de enclaustramiento (en inglés, *locked-in syndrome*). Su principal característica es la presencia de una conciencia plenamente funcional en ausencia de toda capacidad de movimiento, salvo por la aparentemente nimia excepción de pequeños

movimientos oculares y parpadeos voluntarios.

Aunque conserve intactos los recursos cognitivos para hacerlo, el paciente que sufre el síndrome de enclaustramiento es incapaz de comunicarse con sus semejantes porque no puede articular palabra. Literalmente, el paciente está encerrado en sí mismo, un estado que el periodista francés Jean Dominique Bauby (1952-1997), mudo y tetrapléjico a causa de un accidente de automóvil, logró describir en primera persona en su novela *La escafandra y la mariposa*. Bauby logró dictar la novela a sus cuidadores mediante un arduo sistema de comunicación basado en los escasos movimientos oculares que era capaz de realizar. Ello fue posible gracias al hecho de que las vías nerviosas que controlan los movimientos verticales de los ojos y el parpadeo no se vieron afectadas por la lesión. Estas vías cursan a través de la zona posterior del tronco encefálico, que no resulta dañada en el síndrome de enclaustramiento. En vista de la extrema crueldad de este síndrome, es fácil comprender la importancia de cualquier ayuda que le permita al paciente compensar mínimamente su difícil situación y le otorguen un cierto grado de control y comunicación con el entorno. Una de esas ayudas es precisamente la comunicación basada en la explotación de sus reducidos recursos motores. Otra más novedosa, derivada de los últimos desarrollos de la tecnología cerebral, es la utilización de sistemas artificiales de comunicación cerebro-ordenador como los descritos en párrafos anteriores, una aplicación aún en fase experimental pero que en el futuro podría contribuir a compensar las importantes carencias de estos pacientes y mejorar su calidad de vida.

FIGURA 3



Localización de la región ventral del tronco encefálico, cuya lesión origina el síndrome de enclaustramiento.

¿Es posible la lectura mental de precisión? Células conceptuales y memoria personal

Los intercambiadores cerebro-ordenador permiten convertir la información

procedente de la actividad cerebral en órdenes transmitidas a un dispositivo externo, sea la pantalla del ordenador en la que irá escribiéndose una frase o un brazo robótico a través del cual el sujeto interactúa con su entorno. Se trata en casi todos los casos de contenidos mentales relativamente simples que distan mucho de la complejidad y elaboración de nuestra experiencia subjetiva cotidiana. De momento, no parece que sea posible descifrar el lenguaje de las neuronas con una precisión tal que permita leer ideas, experiencias o intenciones complejas en la mente de otra persona. De momento... porque tanto el desarrollo de métodos cada vez más precisos de análisis de la actividad neuronal como los avances de la propia neurociencia permiten vislumbrar la inquietante posibilidad de futuros dispositivos que permitan una lectura más precisa y efectiva de las mentes ajenas. Esta posibilidad, que en principio puede parecer poco deseable, tiene también su cara amable, la aplicación terapéutica para compensar los déficits cognitivos debidos a daño o degeneración neurológica.

Jugando a la anticipación científica, un recurso para una lectura precisa de los contenidos mentales ajenos podría basarse en el registro de las llamadas «células conceptuales». Para comprender mejor la importancia de este tipo de células es preciso comparar su funcionamiento con el de las neuronas del córtex visual, cuya principal función es el procesamiento inicial de la información que entra al cerebro a través de los ojos. Las células de la corteza visual primaria codifican aspectos elementales de la estimulación visual, respondiendo a rasgos simples como la orientación de una línea. Además, las neuronas visuales son altamente selectivas de forma que, por ejemplo, diferentes células responden preferentemente a líneas de distinta orientación. La acción combinada de distintos grupos de neuronas especializadas en el análisis de diferentes rasgos elementales es lo que finalmente permite la percepción de un objeto completo, sea una cara humana, un jarrón chino o una taza de café. La selectividad de las neuronas de la corteza visual fue uno de los grandes descubrimientos de David Hubel y Torsten Wiesel, dos neurofisiólogos que recibieron el premio Nobel en 1981 por sus estudios sobre el procesamiento visual en el cerebro. Hubel y Wiesel formularon un principio esencial en la organización del sistema visual del cerebro. De acuerdo con este principio, el procesamiento de los estímulos visuales avanza

de forma jerárquica a través de distintos estadios que van desde la descomposición del objeto en sus rasgos elementales hacia niveles progresivamente más complejos y abstractos. Esto quiere decir que mientras que las células de la corteza visual primaria son sensibles a rasgos elementales, las de los sucesivos sistemas de análisis visual responden a propiedades más complejas (forma o movimiento, por ejemplo) o a la conjunción de varios rasgos. Esto es lo que ocurre con las neuronas de la corteza inferotemporal, último eslabón de la llamada vía visual ventral, que parte de la corteza visual primaria y está encargada del reconocimiento de objetos.

Un tipo de neuronas que responden selectivamente a conjunciones de rasgos tan precisas y únicas como «Jennifer Aniston» o «la torre de Pisa» son las así llamadas células conceptuales. Su nombre refleja la idea de que la función de estas neuronas es codificar o «representar» conceptos elaborados, como los referidos a una persona o un lugar determinados. Las neuronas conceptuales, en efecto, incrementan su actividad de forma selectiva cuando vemos la cara de una persona concreta o la foto de un determinado edificio, con independencia de variaciones en aspectos no esenciales como la iluminación, el tamaño o el punto de vista. El descubrimiento de estas peculiares células cerebrales tuvo lugar durante la exploración neurológica de pacientes con epilepsia a los que se había implantado en el cerebro pequeños electrodos con el fin de registrar la procedencia de la actividad neuronal anómala causante de las convulsiones. En el curso de la exploración neurológica se presentó a los pacientes una serie de imágenes de personajes famosos y de edificios muy conocidos. Los electrodos fueron en su mayor parte implantados en el lóbulo temporal medial, situado en la cara interior de los lóbulos temporales, hacia la línea media del cerebro, debido a que los focos epilépticos se localizan frecuentemente en esa región. La sorpresa con que se encontraron los investigadores fue comprobar que algunas neuronas respondían de forma selectiva a fotografías que mostraban a una persona o un edificio concreto. Dado que una de las imágenes representaba a la actriz Jennifer Aniston, esas neuronas tan selectivas recibieron inicialmente el nombre de la famosa actriz, aunque una denominación más genérica es la de células conceptuales. En la misma zona del cerebro se han detectado neuronas

que responden de forma casi exclusiva a fotografías de cosas tan distintas como Bill Clinton, los Beatles o la Torre de Pisa. Dato importante: cada una de esas células responde por igual cuando el sujeto ve la fotografía y cuando lee o escucha el nombre correspondiente. Esta similar respuesta a estímulos de diferente modalidad sensorial referidos a un mismo objeto indica que las células conceptuales representan los objetos de forma relativamente abstracta, independiente del sentido a través del que se percibe o de cambios sustanciales en su apariencia. Por supuesto, la sensibilidad de las células conceptuales a uno u otro objeto es consecuencia del aprendizaje y la experiencia previa del sujeto. Cada uno de nosotros posee su propio conjunto de células conceptuales, dependiendo de cuáles sean las personas, lugares u objetos con que esté más familiarizado. Puede decirse que las células conceptuales son una especie de repositorio resumido de nuestra experiencia previa, una biblioteca que contiene la información básica referida a los objetos más destacados o frecuentes de nuestro entorno.

Como ya se ha dicho, las células conceptuales se localizan principalmente en el lóbulo temporal medial, precisamente la localización donde se encuentra el hipocampo, la estructura cerebral esencial para la formación de nuevos recuerdos. Por esta razón, se cree que estas células son un elemento esencial de la memoria declarativa; es decir, la memoria que refleja nuestro conocimiento explícito de la realidad incluido, por supuesto, el conocimiento acerca del variado entorno proporcionado por los medios de comunicación y la cultura de masas. Así lo indican los resultados de estudios que han identificado células conceptuales que responden por igual a actores o personajes de ficción relacionados entre sí, como Jennifer Aniston y Lisa Kudrow, coprotagonistas de la famosa serie *Friends* o a Lukas Skywalker y Yoda, personajes de la saga de *La guerra de las galaxias*. Otro interesante resultado es que las células conceptuales incrementan su actividad no sólo cuando el sujeto está en presencia del estímulo, sino también cuando piensa en él. ¿Podríamos entonces saber en qué está pensando otra persona leyendo lo que dicen sus células conceptuales?

Si pudiésemos hacer hablar a las neuronas de la corteza visual primaria, las que codifican los rasgos más básicos de los estímulos, nos dirían cosas como «veo el borde recto de algo» o «estoy ante algo que tiene un borde con

una inclinación aproximada de 45°». Poca cosa para adentrarnos en los pensamientos de la propietaria de ese cerebro. Sin embargo, si le preguntásemos a una de las células conceptuales del lóbulo temporal, podrían decirnos cosas bastante más interesantes, como «Estoy viendo la cara de mi mejor amiga» o incluso «¡Estoy pensando en George Clooney!». Provistos de la tecnología adecuada y de los algoritmos necesarios para decodificar la actividad neuronal, podríamos, al menos en teoría, llegar a adentrarnos en una mente ajena y emular al espía de la canción de Jim Morrison cuando se jactaba de su capacidad para penetrar en los pensamientos de su destinatario. Otra cosa es si realmente desearíamos hacerlo (probablemente sí) o si tal posibilidad sería éticamente aceptable (seguramente no).

En una nueva vuelta de tuerca, algunos han elucubrado con la posibilidad de descargar la memoria cerebral a un disco duro, quizá en previsión de que los estragos de la edad erosionen los recuerdos más queridos de nuestro pasado o los conocimientos arduamente adquiridos durante toda una vida de estudio. Sería algo parecido a los dispositivos de memoria externa que utilizamos para hacer copias de seguridad de los datos almacenados en el disco duro de nuestro ordenador personal, aunque en este caso el disco de origen sería el de nuestro propio cerebro. Incluso se ha fantaseado con la creación de sistemas de conexión entre distintos cerebros que pudieran permitir intercambiar información de una mente a otra, dando lugar a una especie de super-cerebro colectivo. Ciencia-ficción en el presente, pero de nuevo posibilidades que no parecen descabelladas a largo plazo si se tiene en cuenta el vertiginoso desarrollo que en los últimos años vienen experimentando la ciencia del cerebro y las tecnologías de ella derivadas. Por supuesto, este desarrollo va a suponer un importante desafío con consecuencias psicológicas y sociales que actualmente no podemos calibrar y hay ya muchos investigadores, filósofos y científicos sociales que han dado la voz de alerta y que consideran urgente iniciar una reflexión sobre las implicaciones éticas de la investigación neurocientífica. Un ejemplo destacado es el del neurocientífico español Rafael Yuste, que lidera una campaña mundial alertando sobre los problemas éticos planteados por el desarrollo de la neurotecnología y la inteligencia artificial⁴⁴.

6. Luces sobre el cerebro: la optogenética como interruptor neuronal

¿Qué es la optogenética?

Una de las herramientas más novedosas para el estudio experimental del cerebro es la optogenética, una sofisticada y compleja técnica que, mediante la combinación de métodos de la neurociencia y la genética, permite controlar con gran precisión la actividad neuronal en animales de experimentación. Se trata básicamente de alterar mediante ingeniería genética las propiedades de grupos específicos de neuronas para hacerlas sensibles a la luz. De este modo, es posible estimular las neuronas modificadas mediante pulsos de luz, activándolas o desactivándolas a voluntad. La optogenética se ha empleado ya en estudios con distintas especies animales, como moscas, gusanos, roedores o primates no humanos, con el fin de determinar el papel de distintos grupos de neuronas en diferentes funciones cognitivas y delinear de forma más precisa los circuitos neuronales implicados. La optogenética presenta numerosas ventajas frente a métodos tradicionales de alteración de la actividad neuronal como la administración de fármacos, cuyos efectos son más lentos, o la estimulación eléctrica, de efectos mucho menos específicos y de más difícil control.

En la optogenética, grupos específicos de neuronas son modificados genéticamente con el fin de que expresen un tipo de proteínas fotosensibles denominadas opsinas. Un ejemplo de estas moléculas son las canalrodopsinas, que las algas verdes utilizan para moverse en busca de luz. Una vez efectuada esta modificación, se inserta a través del cráneo del animal un fino cable de fibra óptica dirigido a la zona de interés. A través de este cable es posible suministrar en lugares seleccionados pulsos de luz de diferentes longitudes de onda que al actuar sobre las opsinas permiten activar o desactivar las correspondientes neuronas con una precisión temporal de milisegundos. Una de las ventajas de la optogenética es que permite modificar de forma precisa y selectiva el conjunto deseado de neuronas. Esto, combinado con la variedad de opsinas naturales y de síntesis de que se dispone actualmente, cada una con

distintas propiedades funcionales, proporciona al investigador una especie de «caja de herramientas» molecular para la manipulación y control de la actividad neuronal.

Distintos tipos de opsinas hacen que la estimulación lumínica tenga diferentes consecuencias sobre la actividad neuronal. Por ejemplo, la estimulación de neuronas que expresan una canalrodopsina despolariza la célula y la hace más fácilmente excitable. En cambio, otra clase de opsinas, las halorodopsinas, actúan del modo contrario. En este caso, la estimulación lumínica de la célula que las expresa hiperpolariza la neurona y reduce su excitabilidad. Por otra parte, cada tipo de opsina es sensible a diferentes longitudes de onda de la luz. Las canalrodopsinas, por ejemplo, son sensibles a la luz azul, mientras que las halorodopsinas lo son a la luz amarilla. Dado que una misma neurona puede ser modificada para expresar dos diferentes tipos de opsinas, es posible activar e inactivar a voluntad una misma neurona mediante la estimulación con luces de diferente color. Es como si dispusiéramos de un interruptor celular para encender y apagar la neurona a voluntad. Luz azul, encendido; luz amarilla, apagado.

Recuerdos implantados

La implantación artificial de recuerdos es uno de los temas recurrentes en las modernas creaciones de ciencia-ficción. Los replicantes del mundo distópico de *Blade Runner* (1982), la película de Ridley Scott inspirada en la novela de Philip K. Dick *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?* ⁴⁵, carecían de memoria personal y por ello necesitaban un suplemento artificial de pasado que les era proporcionado mediante la implantación de recuerdos desde el exterior. La maleabilidad de la memoria humana hace que la sugestión, la falta de atención o el testimonio de otras personas nos lleven sin darnos cuenta a adquirir recuerdos que en nada se corresponden con la realidad vivida. En otro capítulo de este mismo libro me he referido ya al fenómeno de «falsa memoria», por el que una persona puede llegar a estar convencida de haber vivido sucesos que jamás sucedieron. Sin embargo, en las elucubraciones futuristas de la ciencia ficción la creación de recuerdos falsos, casi siempre

con intenciones malévolas, se basa en el uso de la tecnología como herramienta para la manipulación mental por un agente externo. ¿Han alcanzado la neurociencia y las tecnologías del cerebro un desarrollo suficiente como para hacer real esta posibilidad?

Algunos estudios han demostrado que es posible alterar mediante técnicas optogenéticas conjuntos específicos de neuronas, de forma que el animal acabe respondiendo como si hubiese tenido una experiencia que realmente no ha ocurrido nunca. De este modo se ha logrado, por ejemplo, establecer un intenso miedo a un determinado lugar en el que el animal no ha tenido ninguna experiencia negativa real. Es como si se hubiese implantado en la memoria del animal el falso recuerdo de un desagradable suceso que nunca ocurrió. El principio que hace que esto sea posible es que la estimulación artificial de las redes neuronales que normalmente codifican o representan un determinado estímulo o suceso puede sustituir al hecho real. Para entendernos, el cerebro no distingue si la activación de una determinada red neuronal se debe a la presencia real de un predador o la estimulación a través de un electrodo. La actividad, venga de donde venga, produce el mismo efecto siempre que se produzca en el lugar y las condiciones adecuadas. Por ejemplo, como vimos en el Capítulo 3, el sistema cerebral de recompensa está encargado de «procesar» o estimar el valor que para nuestra supervivencia, bienestar y placer inmediato tienen cosas tan variadas como la comida, el sexo, las drogas, un bello paisaje, el dinero o la visión de una cara. Por muy diferentes que puedan ser todas ellas, tienen la propiedad común de poner en funcionamiento el sistema cerebral de recompensa. Una forma de «engañar» al cerebro y hacerle creer que está en presencia de algo especialmente interesante es estimular directamente el sistema de recompensa, sea mediante impulsos eléctricos o mediante las nuevas y más precisas técnicas optogenéticas.

Un punto caliente del sistema de recompensa es el núcleo *accumbens*, una estructura que forma parte de un sistema más extenso conocido como neocórtex, situado en la base del cerebro. Por lo que al cerebro se refiere, un aumento de la actividad del *accumbens* ante la visión de un cuerpo hermoso o el olor de una comida apetitosa significa para algo así como «Mmm, ¡esto me gusta!». El uso de técnicas optogenéticas en estudios con animales de

experimentación ha confirmado de forma convincente el papel esencial del núcleo *accumbens* en los procesos de recompensa. En uno de esos estudios se estimuló ópticamente las neuronas del *accumbens* cada vez que unos ratones de laboratorio metían el hocico por una trampilla. A consecuencia de esa experiencia, los animales volvían a insistir una y otra vez en la misma conducta como si esperasen encontrar tras la trampilla algo realmente interesante. Eso cuando el resultado de la estimulación lumínica era despolarizar las neuronas, aumentando así su excitabilidad. En cambio, cuando la estimulación inducía una hiperpolarización de las neuronas, volviéndolas por tanto menos excitables, los ratones perdían todo interés en la búsqueda de recompensas. La activación o inhibición directa del *accumbens* equivalían para el animal a la experiencia de «Aquí hay algo interesante» o «Aquí no hay nada que merezca la pena», respectivamente. Demostraciones del efecto recompensante de la estimulación eléctrica del cerebro se conocían desde los estudios clásicos de Olds y Milner en la década de 1970, que demostraron por vez primera la existencia de un sistema cerebral específico encargado de los procesos de recompensa. Sin embargo, los efectos de la estimulación eléctrica son mucho menos selectivos que los de la optogenética. La sofisticación de estas nuevas técnicas aumenta considerablemente la precisión de los resultados y permite una localización mucho más certera de los sistemas neuronales implicados.

Otros estudios han demostrado que también es posible crear artificialmente un intenso miedo a un lugar en el que nunca ha ocurrido nada especialmente peligroso o desagradable. Esto se ha logrado mediante la estimulación lumínica de neuronas de la amígdala mientras el animal está explorando un nuevo recinto. Es bien sabido que la amígdala cerebral tiene un papel crucial en la adquisición de reacciones de miedo y ansiedad. La amígdala desempeña además una importante función en la memoria emocional. Es la región cerebral que hace, por ejemplo, que un lugar en el que hemos tenido una experiencia especialmente peligrosa quede asociado a una intensa sensación de miedo. La experiencia de sucesos en los que nuestra seguridad física se ve amenazada va también acompañada de un incremento de la actividad de las neuronas amigdalares. Esa actividad actúa como una especie de llamada general de alarma que pone en guardia al organismo y le prepara para la lucha o la huida.

Los estudios de optogenética han demostrado que basta con estimular artificialmente ciertas neuronas seleccionadas de la amígdala para que el animal adquiera un intenso miedo al lugar en que se encuentre o a los sonidos o imágenes que esté percibiendo en ese preciso momento. La estimulación neuronal actúa como un efectivo sustituto del hecho real, lo que indica, sin lugar a dudas, que las células correspondientes son las que en condiciones naturales se encargan de codificar o representar la información relativa a hechos o situaciones amenazantes. En este sentido, la sensibilización artificial de la amígdala mediante técnicas optogenéticas equivale a la implantación de algo muy similar al falso recuerdo de una experiencia aversiva.

7. ¿Cómo se borra un recuerdo?

Los resultados de los estudios de optogenética recién comentados pueden considerarse como un ejemplo rudimentario de implantación de recuerdos. El animal nunca ha recibido comida ni nada tangible por meter el hocico en la trampa, pero actúa como si lo hubiera hecho. Tampoco tuvo una experiencia peligrosa real en ese lugar en el que ahora se queda completamente paralizado. No ha vivido sucesos reales, sólo «experiencias» neuronales que han tenido lugar exclusivamente en su cerebro, pero su efecto sobre la conducta es exactamente el mismo que si hubieran ocurrido en el mundo real. Probablemente a nadie le gustaría que implantasen en su cerebro recuerdos de experiencias que nunca vivió y que afectarían para siempre a su conducta. Sin embargo, es posible que muchos nos apuntásemos a una sesión de borrado selectivo de los malos recuerdos. Olvidar malas experiencias, no reconocer por la calle a esa persona que nos hizo tanto daño o a la que simplemente no tragamos... O en un tono más constructivo, conseguir que las personas que sufren trastornos de ansiedad o estrés postraumático borren de su memoria la huella aparentemente indeleble de sucesos pasados cargados de emocionalidad negativa. ¿Será posible alcanzar ese tranquilizador olvido recurriendo a la neurotecnología? Quizá no de momento, aunque los investigadores ya parecen estar sobre la pista de cómo conseguirlo. En los últimos años varios estudios han informado de los primeros éxitos en el

borrado de recuerdos emocionales en animales de laboratorio.

Una técnica para el borrado de recuerdos se basa en algo tan aparentemente obvio y expeditivo como eliminar las células encargadas de codificarlos. Tarea de momento imposible cuando se trata de recuerdos medianamente complejos. Una vieja idea de la psicología y la neurociencia es que los recuerdos se representan en el cerebro mediante cambios físicos que se mantienen relativamente estables durante largos periodos de tiempo. A principios del siglo XX, el biólogo alemán Richard Semon teorizó sobre la base física de la memoria y llamó huella mnésica o «engrama» a lo que consideraba que podría ser el substrato neurobiológico de los recuerdos⁴⁶. Un substrato que, como consideran los neurocientíficos actuales, no tiene una localización única y precisa en el cerebro. Por el contrario, la memoria de un evento particular, como el encuentro casual en la calle con un viejo conocido, queda representada a través de cambios físicos distribuidos en múltiples regiones cerebrales, cada una de las cuales codifica un aspecto diferente del hecho recordado. Para reactivar un recuerdo, para localizarlo en nuestro archivador mental, no basta con abrir un cajoncito especialmente dedicado; es preciso tirar al mismo tiempo de varios cajetines y relacionar entre sí los contenidos que van apareciendo en cada uno de ellos. El engrama de nuestros recuerdos personales adopta esta forma de almacenamiento distribuido e implica, por tanto, modificaciones físicas en múltiples sistemas cerebrales. Nuestros recuerdos, además, no flotan en un vacío, sino que se hallan inscritos dentro de un contexto personal más amplio, ligados a diferentes ámbitos de nuestra experiencia e integrados con el conocimiento que tenemos acerca de nosotros mismos. Despertar un recuerdo personal de la memoria, por tanto, conlleva la activación simultánea e interactiva de múltiples redes neuronales que se hallan dispersas por todo el cerebro, corteza y profundidades incluidas.

Estudiar en detalle las bases neurobiológicas de nuestros recuerdos personales es, por el momento, una posibilidad que no está al alcance de la ciencia. Esto es así porque el carácter distribuido de la representación de los recuerdos complejos hace imposible localizar el engrama correspondiente en un rincón concreto del cerebro. Por ello, los investigadores han comenzado por la tarea más realista de estudiar ejemplos elementales de memoria en otras especies. La investigación de la memoria con la ayuda de modelos animales

tiene la ventaja de que es posible estudiar la formación de recuerdos basados en sencillas y bien controladas experiencias de aprendizaje. Además, la reducida probabilidad de que moscas de la fruta o ratones de laboratorio posean algo similar a la autoconciencia o el sentido del yo hace posible abordar el estudio de formas de memoria relativamente elementales y no «contaminadas» por funciones superiores. Todo ello permite trabajar sobre engramas mucho más simples que los que representan nuestros recuerdos personales. Un modelo experimental rápido y efectivo para crear recuerdos emocionales simples y sus correspondientes engramas es el del llamado condicionamiento pavloviano, basado en los procedimientos de aprendizaje asociativo desarrollados por el fisiólogo ruso Ivan Pavlov. En este procedimiento, el animal de laboratorio es expuesto a estímulos auditivos o visuales que van acompañados de una breve descarga eléctrica, suficientemente desagradable pero que no produce daño alguno en los tejidos. Después de unas pocas repeticiones de esta experiencia el animal queda paralizado en cuanto percibe la luz o el sonido asociado al peligro y, si puede hacerlo, huye inmediatamente en anticipación de lo que pueda venir. Se trata de un modelo descarnado y elemental del modo en que prácticamente todas las especies animales conocidas aprenden a reaccionar emocionalmente ante los estímulos o señales que indican la proximidad de algo importante. Puede ser algo desagradable, como la descarga eléctrica del ejemplo anterior o la probabilidad de ser asaltado en un callejón oscuro y poco transitado. O algo placentero, como la expectativa del abrazo cariñoso de un familiar con el que nos encontramos después de una larga ausencia. El condicionamiento pavloviano esconde en su aparente sencillez una enorme potencialidad para modificar nuestras aversiones y nuestras preferencias y es, por ello, una de las herramientas esenciales del aprendizaje y la memoria emocional.

Conseguir el borrado de recuerdos simples, como los establecidos por condicionamiento pavloviano en ratones de laboratorio, requiere la aplicación de una compleja y precisa tecnología cuyos detalles van más allá de los objetivos de este libro. Simplificando, los pasos necesarios suponen primero crear el engrama a partir de una experiencia de condicionamiento (luz, sonido o un determinado recinto asociados a una descarga eléctrica); segundo, localizar las células que codifican esa experiencia en el cerebro de cada

animal; y, finalmente, dañarlas o silenciarlas de forma que el animal no recuerde lo que ocurrió anteriormente. Al tratarse de una experiencia aversiva, el lugar más probable de localización del engrama es la amígdala. Pero ¿cómo saber exactamente qué células se encargarán de formarlo?, ¿qué cajetín del archivador habrá que sellar o destruir para que el animal vuelva a comportarse como si no hubiera pasado nada? Aquí es donde las cosas se ponen difíciles.

Estudiando sistemas neuronales bien localizados dentro de la amígdala, los investigadores han descubierto que las células que tienen mayor probabilidad de intervenir en la formación de un nuevo engrama son las que en ese momento expresan con más fuerza una proteína denominada CREB (un factor regulador de la transcripción genética). Es como si entre los diferentes elementos de la red neuronal se produjese una competición por ver qué células pasarán a formar parte del nuevo engrama. Las que muestran un mayor nivel del factor de transcripción son las que finalmente resultan ganadoras. Identificadas las neuronas que probablemente codificarán el nuevo recuerdo, se pasa a la fase de formación del engrama correspondiente mediante el condicionamiento del miedo. Por último, los investigadores intervienen directamente sobre la red neuronal que codifica la reciente experiencia de aprendizaje para compensar o borrar sus efectos. Una posible forma de lograrlo es inducir directamente la muerte celular. Remedando el dicho popular, muertas las neuronas se acabó el miedo. Otros métodos para lograr un resultado similar se basan en las técnicas de optogenética, que como hemos visto permiten silenciar selectivamente grupos de neuronas. El ratoncito que antes se quedaba paralizado en cuanto escuchaba el sonido que anunciaba una inminente descarga permanece ahora impassible y actúa como si no pasara nada. El borrado de memoria al alcance de la mano.

Actualmente no es fácil saber hasta qué punto descubrimientos como los recién comentados se traducirán en tratamientos que permitan el borrado de recuerdos traumáticos en seres humanos. Aún más difícil es saber si tratamientos de este tipo tendrían efectos terapéuticos significativos, incluso si son necesarios o si sería deseable aplicarlos. Modos más sencillos y menos invasivos de reducir la ansiedad o el impacto de las experiencias traumáticas se vienen probando desde hace décadas con resultados variables.

Recientemente, además, se han propuesto técnicas de exposición conductual que actúan sobre distintas fases de la formación y consolidación de nuevos recuerdos y que podrían servir para eliminar o neutralizar los efectos de experiencias aversivas sin necesidad de recurrir a tecnologías complejas o invasivas. Sea como fuere, la demostración de la manipulación experimental de recuerdos en animales de laboratorio abre un amplio abanico de posibilidades para la investigación de las bases neurobiológicas de la memoria, con unos niveles de control y precisión impensables hasta hace muy poco.

El desarrollo de procedimientos supuestamente terapéuticos basados en los avances de la neurociencia y la neurotecnología plantea interrogantes éticos y filosóficos que de momento no resulta fácil resolver. De hecho, muchos descubrimientos de la neurociencia cuestionan ideas acerca de la naturaleza humana profundamente arraigadas en todas las culturas humanas y que forman parte de los fundamentos de nuestros códigos morales y sistemas de creencias. Una traducción automática del laboratorio a la aplicación clínica saltaría por encima de estas consideraciones y tendría efectos que actualmente son difíciles de evaluar. Sin embargo, ser consciente de las delicadas zonas en que se está adentrando la ciencia del cerebro nos permitirá, primero, aprovecharla en beneficio de nuestro bienestar físico y psicológico y, segundo, estar en guardia frente a posibles aplicaciones prematuras o indeseables.

⁴² Canción incluida en el disco *Morrison Hotel* (1970).

⁴³ Egas Moniz recibió en 1949 el premio Nobel de Fisiología o Medicina «por su descubrimiento del valor terapéutico de la leucotomía en algunas psicosis». El premio fue compartido con el neurofisiólogo suizo Walter Hess, quien lo recibió en reconocimiento a sus investigaciones sobre el control cerebral de los órganos internos.

⁴⁴ Yuste, R. *et al.* (2017). Four ethical priorities for neurotechnologies and AI. *Nature News*, 551(7679), 159.

⁴⁵ Dick, P. K. (2016). *¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?* Barcelona, Edhasa.

⁴⁶ Semon, R. (1921). *The mneme*. Londres, George Allen & Unwin.

ATRAPADOS EN LA RED: LA MENTE EN LA ERA DE INTERNET

Estar en todas partes es no estar en ninguna.

Séneca, Cartas a Lucilio

1. Internet, la nueva ecología cognitiva

La generalización del uso de internet y las llamadas «nuevas tecnologías» para la realización de todo tipo de actividades humanas está cambiando de modo radical el modo en que interactuamos con nuestro mundo material y social. La acelerada evolución de internet, junto con el incesante desarrollo de los dispositivos móviles que permiten un acceso continuo y casi ilimitado, han hecho que el mundo digital sea una parte esencial de nuestro entorno cotidiano. Internet y sus derivados se han convertido en el nuevo nicho ecológico de una gran parte de la humanidad, un medio global con características peculiares que lo diferencian de los entornos en que nuestra especie ha vivido y evolucionado hasta ahora. Por su novedad, estas características parecen plantear un desafío a unas capacidades mentales adaptadas a entornos físicos y sociales regidos por normas muy diferentes. Sin embargo, los nuevos entornos y herramientas tecnológicas son un producto más de la actividad humana, una invención que facilita nuestra existencia como hicieron innovaciones como la agricultura, la escritura o actividades simbólicas complejas como el arte o la ciencia, potentes motores de cambio que también han modificado de forma radical el entorno material y social de la humanidad y modelado nuestra vida pública y privada.

Como señalan los autores de un reciente estudio sobre el tema, internet «forma parte del entorno extra-organísmico que moldea, sostiene, apoya y

quizá incluso lleva a cabo nuestras rutinas cognitivas...; en esencia, una parte importante del medio ecológico más extenso en el que se halla situado nuestro cerebro biológico»⁴⁷. Lo que explica gran parte del éxito y el impacto social de este nuevo medio es que permite superar muchas de las limitaciones de los entornos tradicionales a los que nuestro cerebro está adaptado. Internet es un entorno de funcionalidad múltiple, medio privilegiado de intercambio social y repositorio de ingentes cantidades de datos sobre prácticamente cualquier aspecto de la realidad y la cultura humana. Pero la red es también un inmenso supermercado virtual en el que se oferta prácticamente todo lo que un ser humano puede desear: noticias a medida, relaciones personales, compras, viajes, sexo, música, juego, autopromoción...; en resumen, un sustituto mejorado de la realidad que supera muchas de las restricciones que el medio ecológico en que se ha desenvuelto nuestra especie imponía a la búsqueda y consecución de bienes y recompensas de todo tipo.

El mundo virtual, considerado como medio de interacción social y herramienta para la búsqueda de recompensas y sensaciones, presenta características peculiares. Como han señalado otros autores, internet constituye una nueva ecología cognitiva, un nuevo entorno en el que desplegamos nuestra actividad mental y vivimos nuestra experiencia social y afectiva. Desde el punto de vista del usuario, la superabundancia y variedad casi infinita de contenidos, la simultaneidad de mensajes y propuestas y la inmediatez de los resultados son características esenciales de ese nuevo medio. Características que rara vez se dan en otros entornos y que, por tanto, plantean nuevas exigencias en términos de conducta y actitud mental. Quienes hemos debido familiarizarnos poco a poco con las nuevas tecnologías a una edad adulta hemos ido realizando, casi sin darnos cuenta, pequeños ajustes para adaptarnos a sus exigencias. Ajustes que afectan a procesos como la atención, el control ejecutivo, la elección y toma de decisiones, la memoria, la cognición social, el procesamiento afectivo y la búsqueda y disfrute de recompensas. Pero ¿es esta adaptación simplemente un nuevo ejemplo de aprendizaje de destrezas?, ¿o supone más bien un cambio cualitativo en la forma de interactuar con los demás y en el modo en que empleamos nuestros recursos cognitivos?

Aunque actualmente existe una abundante literatura teórica y experimental

sobre las posibles consecuencias psicológicas del uso masivo de las nuevas tecnologías, su influencia afecta a tantos aspectos de nuestra vida que apenas tenemos respuestas para las dudas que suscitan. La difusión de las nuevas tecnologías a nivel mundial en una época marcada por la globalización social y económica tiene consecuencias sobre tantos ámbitos de nuestra vida que resulta prácticamente imposible evaluar su impacto real. El estudio de esas consecuencias desde el punto de vista de la psicología y la neurociencia ha dado origen a un nuevo campo de especialización en constante crecimiento, la ciberpsicología, que cuenta ya con varias publicaciones especializadas⁴⁸. En este capítulo me centraré en dos de las cuestiones que más atención han recibido. La primera tiene que ver con los posibles efectos del uso masivo de las nuevas tecnologías sobre la mente y el cerebro: ¿puede ese uso afectar de forma duradera al modo en que empleamos recursos cognitivos como la atención o la memoria?, ¿pueden verse alterados el propio funcionamiento, e incluso la estructura del cerebro? La segunda cuestión es el impacto psicológico de las redes sociales como nuevo medio de relación social: ¿son las redes sociales un sustituto de los grupos sociales tradicionales?, ¿cómo responde el cerebro a los continuos estímulos y mensajes resultantes de la interacción virtual?

2. ¿Cambiará internet nuestro cerebro?

Existe un acuerdo generalizado sobre la necesidad de que las nuevas generaciones adquieran lo antes posible las destrezas necesarias para moverse en el mundo digital. Docentes, familias y autoridades educativas insisten en la necesidad de adaptar los métodos educativos a las nuevas tecnologías, basándose en la doble creencia de que esto mejorará la calidad de la formación que reciben los estudiantes y al mismo tiempo les dará las herramientas necesarias para integrarse en un mundo social y laboral en perpetuo cambio. En contraste con este optimismo, algunas voces críticas han alertado sobre las posibles consecuencias negativas que el acceso excesivo a internet y el uso masivo de dispositivos móviles como tabletas, ordenadores portátiles y teléfonos móviles pueden tener sobre el desarrollo psicológico y

el rendimiento escolar de niños y adolescentes. En un sentido más amplio, la universalización de las nuevas tecnologías plantea interrogantes sobre la capacidad de nuestro cerebro para adaptarse a los nuevos entornos virtuales y sobre los potenciales efectos de esa adaptación. La preocupación por los posibles efectos nocivos de los avances tecnológicos sobre la mente no es precisamente una novedad. Es bien conocida la prevención hacia los posibles efectos perniciosos de la lectura que Platón puso en boca de Sócrates en su diálogo *Fedro* («apariencia de sabiduría es lo que proporcionas a tus alumnos, que no verdad»)⁴⁹.

¿Demasiada información?

La sobreabundancia, la inmediatez y la simultaneidad de la información en los entornos digitales fuerza al usuario a adoptar un modo de procesamiento en el que el foco de la atención cambia rápida y continuamente de un objeto a otro. Un buen ejemplo es el de la lectura de documentos en hipertexto, como los artículos de Wikipedia, con frecuentes enlaces activos mediante los cuales el lector puede acceder a contenidos relacionados que a su vez incluyen nuevos enlaces que remiten a temas cada vez más alejados del original. Enlace tras enlace, uno puede acabar en lugares imprevistos y finalmente perder el interés por el tema inicial o incluso olvidar qué es lo que estaba buscando. La propia lectura deja de ser lineal y secuencial para proceder a saltos en una rápida búsqueda de respuestas, derivaciones y desenlaces inmediatos. El modo de procesamiento característico en el entorno digital es muy diferente a la lectura prolongada y concentrada de textos en medios tradicionales como libros o periódicos, donde la única distracción venía de la presencia de notas o ilustraciones. Las tentaciones a la atención y las llamadas a cambiar a nuevas ventanas y explorar nuevos contenidos alcanzan un grado superlativo en entornos digitales como páginas web promocionales, redes sociales o plataformas de contenidos audiovisuales. La presencia de estas llamadas exige un continuo esfuerzo, bien sea para ignorarlas, bien para elegir cuál de las varias propuestas que se nos ofrecen resulta más tentadora.

Los estudios sobre los comportamientos de navegación en la red indican

que el patrón usual de consulta de páginas web incluye un momento inicial de inspección general durante unos pocos segundos, seguido frecuentemente del salto a una nueva página. El mayor esfuerzo cognitivo requerido por la abundancia de información y los cambios constantes de una a otra pantalla absorben nuestros recursos mentales limitados, forzándonos a un modo de procesamiento disperso y superficial de los contenidos. Psicólogos y pedagogos han alertado sobre el posible impacto de los entornos digitales sobre el desarrollo de habilidades complejas de lectura que implican un uso del razonamiento deductivo, la reflexión y el análisis crítico. En palabras de Maryanne Wolf, que ha estudiado los efectos de los entornos digitales sobre los hábitos de lectura, la necesidad de asimilar rápidamente grandes cantidades de información reduce el tiempo disponible para un procesamiento detenido del texto, impidiendo la «paciencia cognitiva» necesaria para una lectura profunda que vaya más allá de la decodificación inmediata y superficial de la información.

Un ejemplo ilustrativo de cómo la adaptación al entorno digital genera nuevos hábitos de conducta es el de las pautas de consumo musical en internet. La sobreabundancia de la oferta musical en la red, sea en plataformas de escucha en *streaming* o en canales de vídeo como YouTube, aumenta la impaciencia del oyente que, tentado por la presencia de múltiples propuestas simultáneas, salta con rapidez de una canción a otra si lo que escucha no le atrae suficientemente (ver Tabla 1). Una observación que sin duda se explica por este nuevo patrón de escucha es que la introducción instrumental de las canciones de más éxito fue disminuyendo desde una media de veintitrés segundos en 1986, cuando las canciones solían escucharse de principio a fin, a sólo cinco segundos en 2015. Del mismo modo, la aparición del título de la canción en la letra y la llegada del gancho destinado a grabarse en la memoria del oyente se han anticipado notablemente en los éxitos más recientes. En un tiempo en el que el oyente tiene a su disposición millones de alternativas con un solo golpe de tecla, captar la atención desde el primer instante es imperativo si quieres que tu canción se escuche más de unos pocos segundos. Algo similar ocurre con muchos de los vídeos colgados en la red. En el mundo digital, la atención del consumidor es el recurso máspreciado.

TABLA 1
Patrones de escucha en Spotify

Salto a una nueva canción	Probabilidad de interrupción de la escucha
Antes de 5 segundos	24.14 %
Antes de 10 segundos	28.97 %
Antes de 30 segundos	35.05 %
Antes de terminar la canción	48.60 %

Fuente: <https://musicmachinery.com/2014/05/02/the-skip/>

De acuerdo con una larga tradición de investigación en psicología cognitiva, derivada de la teoría de los niveles de procesamiento propuesta por los psicólogos Fergus Craik y Robert Lockhart en los años setenta, el modo en que procesamos contenidos relativamente complejos, como los transmitidos a través de textos o exposiciones orales, determina la comprensión y el recuerdo posterior de la información. Procesamiento superficial y procesamiento profundo tienen características dispares y sus efectos a largo plazo son también diferentes. En comparación con el procesamiento superficial, que puede tener lugar con mínimo esfuerzo y de forma casi automática (copiar al dictado una clase o una conferencia), el procesamiento profundo requiere esfuerzo deliberado, reflexión y atención concentrada (extraer las ideas esenciales y las conclusiones que el profesor o el conferenciante intentan transmitir). La rapidez y facilidad del procesamiento superficial se traducen finalmente en una peor comprensión y un inferior recuerdo. Por el contrario, al centrarse en los aspectos significativos del mensaje, el procesamiento profundo permite la integración de su contenido con nuestros conocimientos previos y favorece el recuerdo posterior de la información más relevante.

En la medida en que la abundancia y la simultaneidad de la información en los entornos digitales dificultan la atención mantenida y fomentan un modo de procesamiento más superficial, sería de prever una influencia negativa sobre el aprendizaje significativo, la comprensión y la memoria. De acuerdo con ello, varios estudios han comprobado que la presencia de enlaces, iconos o llamadas en los medios digitales dificulta la adquisición y aprendizaje de información relevante.

Los entornos digitales y los nuevos dispositivos móviles fomentan el comportamiento multitarea. Este modo de funcionamiento, en el que el foco de la atención cambia constantemente de una a otra tarea, puede resultar beneficioso cuando se trata de manejar sobre la marcha entornos complejos y variables, como cuando el chef de cocina sigue simultáneamente la marcha de varias elaboraciones en curso mientras lleva cuenta de las comandas entrantes. Sin embargo, funcionar de este modo puede resultar contraproducente cuando se trata de llevar a cabo actividades orientadas a objetivos a largo plazo, como es el caso del aprendizaje académico. Numerosos estudios con participantes en edad escolar indican que el modo multitarea, como estar pendiente del móvil durante la clase o de los mensajes de Facebook mientras se estudia, interfiere con el aprendizaje, reduce la capacidad para evitar distracciones y resulta en un peor rendimiento académico. Sin embargo, aunque estos estudios coinciden en demostrar los efectos perjudiciales inmediatos del modo multitarea, sus posibles efectos a largo plazo, tanto positivos como negativos, son mucho menos claros. Simplemente, no hay pruebas consistentes de que el modo multitarea asociado al uso de las nuevas tecnologías se generalice a otros contextos y afecte al rendimiento o la atención en tareas desarrolladas en entornos más tradicionales.

Delegando la memoria

Entre otras muchas funciones, internet se ha convertido en la nueva biblioteca de Alejandría, la memoria global de la humanidad, un dispositivo externo a nuestro cerebro en el que se almacena el pasado y el presente de nuestra especie. Recurrir al buscador de Google en cuanto surge una duda o una polémica en una reunión social se ha convertido en una conducta casi refleja a la que es difícil sustraerse. La eficacia y precisión cada vez mayores de los motores de búsqueda hace que resulte mucho más fácil y rápido localizar un dato en internet que en nuestra propia biblioteca. La red se ha convertido, así, en una especie de memoria por delegación, un medio que nos permite descargar parte de la responsabilidad de guardar la información que nuestra mente no puede o no quiere tomarse la molestia de conservar. Desde la

aparición de los primeros sistemas de representación simbólica y la invención de los sistemas primitivos de escritura, el hombre ha confiado la conservación de sus conocimientos a soportes físicos externos como piedras, tablillas de arcilla, rollos de papiro o papel. Además de compensar la falibilidad de nuestra memoria, estos soportes han desempeñado la trascendental función de permitir la transmisión de información entre individuos y generaciones, dando origen al asombroso logro que representa la cultura humana. Internet cumple en la actualidad una función similar, pero aumentada hasta límites insospechados en cuanto a disponibilidad, rapidez y eficacia. La pregunta es, de nuevo, ¿a costa de qué?, ¿no estará el excesivo recurso a internet volviendo nuestra memoria más perezosa y menos eficaz?

Un estudio publicado en 2011 proporcionó las primeras pruebas sobre cómo el continuo recurso a internet como depósito de datos puede afectar al modo en que empleamos nuestra memoria. Este estudio demostró que los participantes (una muestra de estudiantes universitarios) pensaban automáticamente en internet cuando se les planteaban preguntas relativamente difíciles sobre datos concretos (p. ej., ¿qué país es mayor, Dinamarca o Costa Rica?), pero no cuando las preguntas eran fáciles (p. ej., ¿el oxígeno es un metal?). Por otra parte, el recuerdo de una serie de hechos sobre los que acababan de leer era inferior cuando los participantes creían que posteriormente podrían encontrar la información correspondiente almacenada en el ordenador. Finalmente, cuando tenían la seguridad de poder acceder al ordenador, los participantes recordaban mejor dónde encontrar la información que los propios detalles de la misma. Estos resultados muestran que el nuevo hecho de disponer del inagotable repositorio de datos que es internet produce sutiles cambios en el modo en que empleamos, o más bien dejamos de emplear, nuestra memoria. Una forma de economizar recursos, quizá, pero que, como sugieren estudios posteriores, podría tener contrapartidas.

Recurrir constantemente a internet para resolver todo tipo de pequeñas dudas puede llegar a darnos una falsa sensación de sabiduría. Así lo indica un estudio sobre los efectos de las consultas a la red. Inicialmente se pedía a los participantes que escribiesen lo que supiesen sobre varios temas (p. ej., ¿por qué hay años bisiestos?, ¿cómo se hace el cristal?), permitiéndoles o no completar sus respuestas con información buscada en internet. Finalmente, se

pedía a los participantes que evaluaran su capacidad para responder a preguntas sobre otros temas que no guardaban relación alguna con los iniciales. Sorprendentemente, los participantes a quienes inicialmente se les permitió recurrir a la ayuda de internet tendieron a considerarse más capaces de responder también a estas preguntas. Haber tenido la posibilidad de consultar la red parecía llevarlos a sobreestimar sus conocimientos en temas que ni siquiera se habían mencionado anteriormente, creando una falsa ilusión de saber que, incluso, los llevaba a pensar que su cerebro mostraría mayor activación cuando tuviesen que dar explicaciones sobre esos nuevos temas.

Una forma de memoria de extraordinario valor adaptativo es la que tiene que ver con la orientación en nuestro entorno, la memoria espacial que nos permite recordar lugares y rutas a través de las que llegar a ellos. Pero aprender a orientarnos en nuevos entornos, como cuando hacemos turismo en una nueva ciudad, y formar mapas mentales que nos permitan movernos eficientemente de un lugar a otro sin tener que recorrer siempre la misma ruta, requiere esfuerzo y atención. Condición que no se cumple cuando nos movemos en un entorno desconocido guiados por alguno de los modernos sistemas artificiales de orientación, o GPS (*Global Positioning Systems*). La evidencia científica indica que guiarnos por estos sistemas interfiere el aprendizaje y la memoria espacial y dificulta la formación de los mapas mentales que nos permiten orientarnos de manera autónoma. Las personas que utilizan sistemas GPS pueden llegar de forma más fácil o eficaz a su destino, pero tienen luego peor memoria de los detalles de la ruta seguida, de forma que experimentarán más dificultades para encontrarla si tienen que hacerlo sin ayuda. De nuevo, la delegación de una función cognitiva en un dispositivo que hace el trabajo por nosotros presenta ventajas prácticas inmediatas (llegar rápidamente y sin desvíos a nuestro destino), pero al mismo tiempo resulta contraproducente al interferir con procesos mentales esenciales y hacernos más dependientes de ayudas externas.

Internet: ¿un nuevo factor de reciclaje neuronal?

Igual que la práctica intensiva y continuada de habilidades motoras como

coser, hacer juegos malabares o tocar el violín modifica el cerebro y crea circuitos especializados para su ejecución, el aprendizaje y la práctica de habilidades cognitivas como la lectura o la aritmética alteran el funcionamiento y la estructura cerebral. Es lo que el neurocientífico Stanislas Dehaene ha denominado «reciclaje neuronal», el proceso basado en la plasticidad neuronal a través del cual sistemas cerebrales preexistentes son modificados y adaptados a la ejecución de nuevas funciones. Así, se han descrito en el cerebro humano circuitos para la lectura o la aritmética cuyo desarrollo es paralelo al proceso de aprendizaje de la respectiva habilidad y que se basan en los sistemas preexistentes para el análisis de la forma visual y el sentido elemental de número y cantidad.

¿Es internet el nuevo factor de reciclaje de nuestro cerebro?, ¿logrará el uso masivo de las nuevas tecnologías modificar nuestro cerebro de forma similar a como lo han hecho otras innovaciones culturales como la lectura y la aritmética? Quizá, pero si lo hace, es seguro que será de una forma bastante más sutil de lo que a veces se supone. En cualquier caso, la evidencia limitada de que disponemos actualmente no presagia ninguna catástrofe ni permite sacar conclusiones de gran alcance. Como ejemplo de la investigación sobre el tema, un estudio de neuroimagen funcional realizado con adultos de entre 55 y 76 años demostró notables diferencias entre los patrones de activación asociados a la lectura de un texto tradicional presentado en pantalla y a una tarea de búsqueda y navegación por la red. La lectura tradicional, como era de esperar, activó áreas visuales y redes neuronales que normalmente aparecen activas en tareas lingüísticas y de memoria. En correspondencia con las mayores y más variadas demandas de la tarea, la actividad cerebral asociada a la búsqueda en la red fue notablemente más intensa y dispersa, involucrando regiones frontales y temporales implicadas en procesos de elección, toma de decisiones y razonamiento complejo. Este resultado es coherente con las superiores demandas que los entornos digitales imponen a los usuarios en términos de rapidez y toma de decisiones. Más interesante y menos esperada fue la observación de que la diferencia entre las condiciones de búsqueda y lectura sólo se daba en los participantes experimentados en el uso de internet (la mitad de la muestra). En comparación con ellos, los participantes novatos o con experiencia mínima mostraron patrones similares de activación en

ambas tareas. Esto quiere decir que el uso regular de internet puede modificar de forma efectiva el modo de acción del cerebro cuando navegamos por la red. Otro resultado interesante fue que después de un periodo de práctica de navegación en la red, los participantes inexpertos acabaron mostrando patrones de actividad cerebral similares a los de los expertos, un cambio que sin duda revela los efectos del aprendizaje. Igual que ocurre con el aprendizaje de otras destrezas complejas, la familiarización con cosas como el diseño de las páginas web, la terminología o las estrategias de búsqueda, desencadenaron procesos múltiples de aprendizaje que finalmente alteraron el funcionamiento cerebral adaptándolo de forma más eficaz a la tarea.

Algunos estudios recientes han descrito cambios estructurales en el cerebro asociados al modo de acción multitarea fomentado por los nuevos entornos digitales. En uno de ellos, se observó que las personas que con mayor frecuencia recurrían a este modo de acción mostraban un menor volumen de sustancia gris en la zona anterior del córtex cingulado, una región cerebral a la que se atribuye un importante papel en procesos emocionales, motivacionales y de toma de decisiones. Los autores del estudio sugieren que estos cambios estructurales podrían ser debidos a la frecuencia excesiva del comportamiento multitarea y ser la causa de las inferiores capacidades de control cognitivo y autorregulación mostradas por los sujetos. Sin embargo, los propios autores reconocen que las características de su estudio no permiten discernir si las alteraciones estructurales eran causa o consecuencia de las diferencias en conducta. Una demostración efectiva de que el uso intensivo de los medios digitales es la causa de los cambios estructurales observados en el cerebro requeriría un diseño longitudinal que permitiese comparar a los participantes antes y después de la exposición a los entornos digitales. Sólo así podría comprobarse si el modo multitarea es realmente el factor causal implicado.

Los dos ejemplos recién comentados indican que, si bien el uso frecuente de las nuevas tecnologías puede afectar de formas sutiles al funcionamiento o a la estructura cerebral, no lo hace de forma muy diferente a otras tareas o habilidades que ejecutamos de forma rutinaria. Por otra parte, aún estamos lejos de entender cuál es exactamente el significado de los cambios observados, es decir, de qué modo se relacionan con la alteración de funciones como la atención o el control cognitivo. Esto, unido a la ausencia de

evidencia concluyente acerca de sus efectos a largo plazo, pone en duda la idea de que los nuevos comportamientos de búsqueda de información y entretenimiento asociados a las nuevas tecnologías estén modificando de forma apreciable el funcionamiento de nuestra mente ni su substrato material, el cerebro. Sin duda, internet y las nuevas tecnologías fomentan formas alternativas de emplear nuestros recursos cognitivos y facilitan en algunos casos la descarga de las responsabilidades de nuestra mente en dispositivos hasta ahora desconocidos. Sin embargo, de momento no está claro que el modo de procesamiento superficial asociado al uso intensivo de los entornos digitales se generalice a otros ámbitos de la vida cotidiana y tenga un impacto negativo sobre nuestras facultades mentales.

Aunque pueda preocuparnos el hecho de que media humanidad pase cada vez más tiempo enganchada a la pantalla del móvil o el ordenador y las consecuencias que esto pueda tener sobre el rendimiento académico y los hábitos de estudio de los más jóvenes, no hay datos concluyentes sobre los posibles efectos a largo plazo de las nuevas tecnologías sobre la mente y el cerebro. Internet puede haber cambiado el modo en que empleamos nuestro tiempo, pero hasta ahora no parece que este cambio haya tenido lugar a costa de una alteración significativa en el funcionamiento de nuestro cerebro. Como veremos al final de este capítulo, desde el punto de vista psicológico el riesgo más cierto del uso de las nuevas tecnologías es que proporcionan al usuario un entorno tan absorbente y estimulante que fomenta patrones de uso problemáticos que pueden dar origen, especialmente en jóvenes y adolescentes, a un estado que se asemeja peligrosamente a una verdadera adicción.

3. La sociedad virtual

¿Por qué usamos las redes sociales?

Facebook, Instagram, Twitter, YouTube, WhatsApp... Hace unos pocos años nadie conocía estos términos por la simple razón de que aún no se habían

inventado. Hoy es raro encontrar en las sociedades avanzadas, e incluso en las menos desarrolladas, niños, jóvenes, personas de mediana edad e incluso ancianos que no conozcan su significado. Según datos de la revista *Newsweek* publicados en abril de 2017, las tres redes sociales más utilizadas, Facebook, WhatsApp y YouTube, contaban en aquel momento con 1.9, 1.2 y 1 billones de usuarios, respectivamente. Para darnos cuenta de la enorme penetración de estas redes basta con señalar que la cifra de usuarios de Facebook equivale a algo más de la cuarta parte de la población mundial. Como señala la psicóloga holandesa J. Van Dijck, las redes sociales funcionan en la actualidad como un ecosistema social virtual, un medio dentro del cual una gran parte de la humanidad vive la nueva cultura de la conectividad.

¿Qué motivos mueven a millones de personas al uso masivo del peculiar medio de comunicación que son las redes sociales virtuales? Motivos no muy diferentes, en realidad, a los que desde siempre han llevado a los seres humanos a comunicarse entre sí y a buscar su mutua compañía. Conectar con otras personas y sentirse parte de un grupo social que brinde apoyo y protección es una necesidad básica de todos los seres humanos. Esta necesidad de pertenencia constituye uno de los motivos más poderosos de nuestra especie y es la que nos impulsa a buscar el contacto y la interacción con nuestros congéneres. Es la necesidad básica que nos une a familia, amigos, correligionarios, compatriotas, fans del mismo grupo musical o hinchas del mismo equipo de fútbol. Complementariamente, los seres humanos necesitamos también proteger, mejorar y fortalecer la idea que tenemos de nosotros mismos y, por supuesto, la idea que de nosotros tienen los demás. Con este fin llevamos a cabo una labor más o menos consciente de autopromoción que va desde el modo en que cuidamos nuestra imagen externa a la comunicación y difusión de nuestros logros y virtudes. Necesitamos mostrarnos a los demás para recibir su aprobación, su admiración o incluso sentir su envidia.

Según los psicólogos evolucionistas, la promoción de la propia reputación es un rasgo conductual que ha sido seleccionado en el curso de la evolución debido a su alto valor adaptativo. Una buena reputación aumenta la probabilidad de que otras personas colaboren con nosotros y nos brinden ayuda social y material, lo que en último término favorece la supervivencia.

Pertenencia y autopromoción son, pues, motivos anclados en nuestra biología, que funcionan como eficientes motores de nuestro comportamiento social. Y las nuevas formas de interacción virtual permiten realizarlos con un grado de eficacia e inmediatez hasta ahora desconocidos. Si las redes sociales tienen tan gran poder de atracción no es por el designio malvado de sus creadores, sino porque logran pulsar resortes esenciales de nuestra naturaleza como seres humanos y porque lo hacen con una eficacia y una intensidad que en muchos aspectos son superiores a las de las formas más tradicionales de sociabilidad.

Aunque cada una de las redes sociales actualmente existentes se especializan en distintas funciones y se rigen por normas diferentes, hay algunas características comunes a todas ellas. Se trata fundamentalmente de intercambiar información que, como ocurre en las redes más populares como Facebook o Instagram, es casi siempre de carácter personal. Según algunas estimaciones, dedicamos aproximadamente el 30% del tiempo de interacción social cara a cara a hablar de nosotros mismos, un porcentaje que se dispara hasta el 80% en el contexto de las redes sociales virtuales. En ellas, cada usuario proporciona información, imágenes y «noticias» de sí mismo en espera de recibir la respuesta o la evaluación de otros usuarios que, a su vez, difunden sus propias noticias en espera recíproca de la correspondiente reacción. Fotografías y vídeos de fiestas, vacaciones, comidas en grupo, nacimientos y todo tipo de eventos sociales y personales más o menos relevantes circulan por el espacio virtual a la búsqueda del correspondiente «Me gusta» o la notificación de número de visionados diarios. El ecosistema de las redes sociales se convierte, en palabras de la psicóloga Helena Matute, en una inmensa caja de Skinner en la que las publicaciones y noticias de cada usuario sobre sí mismo, por intrascendentes que sean, encuentran eco inmediato en el entorno virtual. Igual que los animales de laboratorio picotean interruptores o pulsan frenéticamente dispositivos mecánicos para conseguir un poco de alimento en el dispositivo inventado por el psicólogo norteamericano, los humanos abonados a las redes sociales pulsamos el teclado del ordenador con la esperanza de recibir nuestra pequeña ración de recompensa y reconocimiento social. Corroborando las leyes más elementales del control de la conducta, nada mejor que recibir de vez en cuando las migajas de recompensa social que proporcionan las redes para mantener una

alta frecuencia de *posts* y visitas a nuestros tableros de autopromoción virtual.

¿Es la sociedad virtual una réplica de la sociedad real?

Igual que las redes sociales del mundo real, las redes virtuales se basan en lazos como la relación familiar, la historia compartida, los intereses comunes o la procedencia geográfica. Pero la forma de relación entre sus miembros difiere en muchos aspectos. En las redes virtuales podemos clasificar como «amigos» a personas con las que quizá no lleguemos nunca a tener una interacción cara a cara o cuya identidad y características pueden ser casi desconocidas. Debido a la facilidad de conexión, la ausencia de distancia espacial y temporal y la posibilidad de comunicar simultáneamente con un gran número de usuarios, las redes virtuales pueden reunir a un número de miembros mucho mayor que el de los grupos tradicionales de familiares y amigos.

Una de las grandes ventajas de las nuevas redes sociales virtuales es la difusión simultánea de la información a un grupo amplio de personas. No hay que enviar el mismo mensaje una y otra vez para que todos nuestros amigos estén al tanto de nuestra última excursión o de nuestra opinión sobre el último escándalo político. Pero esta ventaja tiene su contrapartida. En los grupos sociales tradicionales, quien emite el mensaje selecciona el destinatario en función de criterios de interés o confianza. No todos los miembros de mi grupo de amigos tienen por qué estar igualmente interesados en conocer mi último destino de vacaciones. Y si deseo sincerarme sobre mis problemas de pareja, puedo no querer hacerlo más que con uno o dos amigos íntimos. Aunque las redes sociales virtuales poseen mecanismos explícitos para privatizar la información, el modo de funcionamiento por defecto es simultáneo y no selectivo. Los mensajes se difunden automática y simultáneamente sin filtros ni matices, con independencia del interés que cada receptor pueda tener en ellos o del grado de confianza o proximidad personal.

Otra característica distintiva de las redes sociales virtuales es la permanencia de la información más allá de la interacción inicial. Salvo en contadas ocasiones, la mayor parte de la información que intercambiamos en

conversaciones y encuentros casuales cara a cara es olvidada para siempre en unos minutos. En la memoria permanente de los actores de la interacción queda si acaso un recuerdo esquemático del encuentro, acompañado de detalles más o menos importantes cuya huella puede ir borrándose con el paso del tiempo. La relevancia personal del encuentro, su intensidad afectiva o su singularidad son los criterios en función de los cuales nuestro cerebro selecciona qué se incorpora como recuerdo estable a la memoria y qué es definitivamente descartado. Las redes virtuales, por el contrario, no olvidan ni tienen una memoria selectiva. Todos los intercambios que tienen lugar en la red pueden quedar fijados indefinidamente en la «memoria» de algún lejano servidor y ser rastreados con distintos niveles de detalle por propios y ajenos. Esto tiene la ventaja de que quien sólo consulta su cuenta personal de Facebook cada cierto tiempo puede ponerse rápidamente al día de los últimos cotilleos en el grupo. Pero, al mismo tiempo, agentes externos con poderosos intereses políticos o económicos pueden acceder a cantidades ingentes de datos y rastros de interacciones aparentemente irrelevantes que, sabiamente procesados, proporcionan una información valiosísima en la que fundamentar estrategias políticas o comerciales al margen de la voluntad de los usuarios. Ejemplo de ello es el escándalo de Cambridge Analytica, la consultora que logró hacerse con los datos de millones de usuarios de Facebook, que fueron posteriormente empleados para influir en el resultado de las elecciones que en 2016 convirtieron al temible Donald Trump en presidente de los Estados Unidos⁵⁰.

La vida social que se desarrolla en el entorno virtual carece de una de las características esenciales de las interacciones sociales en el mundo real: la comunicación cara a cara, el *feedback* continuo y dinámico matizado por la expresividad facial, los gestos y la entonación de la voz. La información generalmente escrita que se transmite por las redes, desprovista de esos complementos, puede resultar fría o ambigua y dar lugar a malentendidos y situaciones embarazosas difíciles de resolver. Los emoticonos surgieron precisamente como medio para transmitir de modo no verbal los matices expresivos y emocionales de los mensajes escritos, aunque en modo alguno logran sustituir la riqueza y variedad de los constantes signos expresivos que manejamos casi inconscientemente en la comunicación cara a cara. La

comunicación unidireccional frente a la reciprocidad o el diferente grado en que se respetan las normas y convenciones sociales son otros factores diferenciadores de la interacción dentro de las nuevas y viejas redes sociales.

En conclusión, aun coincidiendo en algunos aspectos, las nuevas redes sociales no son un simple remedo virtual del modo en que los seres humanos nos hemos venido relacionando hasta ahora. Por el contrario, las redes sociales del mundo virtual constituyen un nuevo modelo de relación que por una parte contradice algunas normas básicas de la interacción social natural y por otra permite trascenderla, superando sus limitaciones. Cuál pueda ser el impacto psicológico y social de su generalización como medio de relación personal y de difusión de la información son cuestiones de enorme alcance para las que aún no tenemos respuesta. En ausencia de evidencia objetiva, la polémica está servida. Ciber-optimistas y ciber-pesimistas intentan convencernos de las virtudes o advertirnos de los peligros de las nuevas formas de comunicación con argumentos que seguramente son parcialmente válidos en ambos casos. ¿Tienen psicólogos y neurocientíficos algo que decir al respecto?

4. El cerebro en la red social

El cerebro es un órgano caro de mantener. El peso medio del cerebro de un humano adulto es de 1,4 kg, lo que equivale al 2% del peso corporal total. Sin embargo, el cerebro consume hasta un 20% de la energía que necesita nuestro cuerpo y lo hace a una velocidad diez veces mayor que sus demás órganos. El cerebro requiere para mantenerse un aporte continuo de oxígeno y glucosa a través del flujo sanguíneo y no soporta cortes prolongados de suministro. Una interrupción del aporte sanguíneo durante diez segundos lleva a la pérdida de consciencia y si el corte de suministro se prolonga durante varios minutos puede provocar daños irreparables y finalmente la muerte cerebral.

Los científicos que estudian la evolución del cerebro han llamado la atención sobre el desproporcionado crecimiento que este órgano alcanza en los primates en comparación con otros mamíferos. Dado que este crecimiento se hace a costa de un notable incremento de las necesidades energéticas, debe

haber buenas razones que lo justifiquen. ¿Cuáles son las costosas e ineludibles demandas a que deben hacer frente los primates para necesitar incrementar el tamaño de un órgano cuyo mantenimiento resulta tan costoso? Como ocurre con todos los problemas difíciles de resolver, hay múltiples y variadas teorías que han intentado responder a esta pregunta. El supuesto común de todas ellas es que si una especie desarrolla un cerebro mayor de lo esperado en función de su peso corporal (es decir, un mayor desarrollo relativo del cerebro en comparación con otros órganos) es porque algún aspecto de su hábitat o de su forma de vida requiere procesos cognitivos más elaborados que exigen un cerebro mayor y más complejo. De acuerdo con esta idea, la evolución de un cerebro más voluminoso se explicaría por la necesidad de una mente más inteligente. Pero esa inteligencia debería estar destinada a resolver algún problema que fuera de vital importancia para la especie.

Cuestión de tamaño: ¿es Facebook demasiado grande para nuestro cerebro?

Robin Dunbar, un biólogo evolucionista de la Universidad de Oxford, ha sugerido dos posibles causas que explicarían la excepcional expansión del cerebro humano. La primera se basa en la exigencia de una mayor inteligencia instrumental dictada por factores como la dieta o los distintos métodos de búsqueda y localización de alimento. La segunda, que es la que él mismo ha desarrollado, pone el acento en la exigencia de una inteligencia social más desarrollada. Para una especie social como la nuestra, cuyos individuos deben pasar por un prolongado periodo de desarrollo durante el que su supervivencia depende del cuidado de los adultos, tan importante como encontrar alimento es obtener apoyo social y formar parte de un grupo dentro del que sentirse protegido. Basándose en estas consideraciones, el propio Dunbar ha propuesto una teoría que ha alcanzado gran popularidad: la hipótesis del cerebro social.

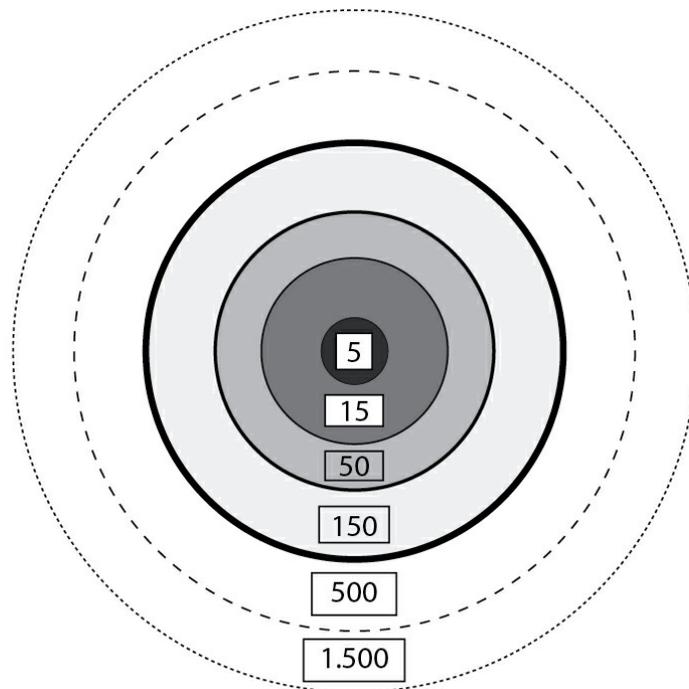
La hipótesis del cerebro social parte de la idea de que la vida en sociedad impone demandas cognitivas especialmente exigentes en términos de recursos

atencionales, memoria, planificación y distribución del tiempo entre distintas actividades. Cuantos más individuos contenga una red social, más tiempo y más recursos cognitivos requerirá cada uno de ellos para mantener su pertenencia al grupo y su posición dentro del mismo. Cada miembro del grupo debe obtener información suficiente acerca de las características y comportamiento de todos los demás, actualizar sus conocimientos para estar al día de posibles cambios, corresponder debidamente al apoyo y favores de otros miembros y llevar cuenta de quién cumple y quién no con sus deberes comunitarios. En apoyo de esta idea, los defensores de la teoría del cerebro social alegan una observación bien significativa: el tamaño típico de los grupos sociales que forman los individuos de una determinada especie puede predecirse a partir del tamaño relativo de su neocórtex (el volumen del neocórtex dividido por el volumen del resto del cerebro). Especialmente importante a este respecto es el tamaño relativo de los lóbulos frontales. De acuerdo con este cálculo y extrapolando a partir de los datos obtenidos en primates no humanos, se estima que el tamaño «natural» de los grupos humanos dentro de los cuales se mantienen relaciones de cierta reciprocidad estaría en torno a 150 individuos (el llamado «número de Dunbar»), lo que más o menos equivale al triple de los grupos característicos de los monos más sociables. Y, en efecto, según algunos estudios éste parece ser el tamaño medio aproximado de las redes sociales reales, compuestas por familiares y amigos, en las sociedades humanas de nuestros días.

Las redes sociales en el mundo real tienen una estructura jerárquica que idealmente puede representarse como una serie de círculos concéntricos de tamaño cada vez mayor y cuya distancia del centro representa la frecuencia de contactos reales (a mayor distancia menor frecuencia) y el grado de proximidad personal y emocional (a mayor distancia menor proximidad). El círculo de menor tamaño se corresponde con el llamado grupo de apoyo emocional (alrededor de cinco personas), es decir, el círculo íntimo formado por los familiares y amigos con quienes mantenemos una relación más estrecha y continuada. Para entendernos, las personas a quienes solicitamos y otorgamos apoyo en momentos difíciles. A continuación, el siguiente círculo representa al grupo de simpatía (con un promedio de quince personas), en el que se incluyen los considerados como amigos próximos, personas a las que

vemos con frecuencia y con las que compartimos entretenimiento e intercambiamos apoyos instrumentales y favores. El círculo mayor y más externo, hasta los 150 miembros, comprende la red de actividad social, la capa más externa de la estructura relacional, conformada por personas con las que mantenemos lazos menos intensos y emocionales, como por ejemplo los compañeros de profesión cuyo nombre conocemos y con quienes, a pesar de mantener sólo contactos ocasionales, existe una cierta relación de reciprocidad. En otras palabras, la típica persona con la que, aun no teniendo una relación estrecha, podríamos acercarnos para compartir el café si nos la encontrásemos en la barra de un bar.

FIGURA 1
Estructura jerárquica de las redes sociales humanas



Estructura jerárquica de las redes sociales humanas según la teoría social de R. Dunbar. Los círculos representan los distintos grupos de personas con que se relaciona un individuo típico. Los números se refieren al número de personas incluidas en cada grupo. El círculo que incluye a 150 personas (trazo grueso) define el límite dentro del cual se mantienen relaciones de reciprocidad. Basado en Dunbar, R. I. (2014). *The social brain: Psychological underpinnings and implications for the structure of organizations. Current Directions in Psychological Science*, 23(2), pp. 109-114.

La teoría del cerebro social supone que los primates necesitan un cerebro

especialmente voluminoso porque deben hacer frente a las demandas de una vida social en comunidades complejas donde las relaciones entre individuos se modifican de forma dinámica a lo largo del tiempo. Quien hoy es tu amigo puede no serlo mañana, entrar en coaliciones con otros miembros del grupo o no mostrar la esperada reciprocidad en el intercambio de apoyos y favores. Formar parte de un grupo relativamente extenso cuya estructura y modo de relación no están predeterminados, sino sujetos a constantes cambios, exige el desarrollo de nuevas capacidades cognitivas. Y esas capacidades sólo pueden ser desarrolladas por un cerebro mayor y con una organización más compleja. Algo coherente con el hecho ya señalado de que el crecimiento del cerebro de los primates se concentra particularmente en los lóbulos frontales, que como es bien sabido alcanzan su máximo desarrollo en nuestra especie. Éste es un dato de fundamental importancia, ya que los lóbulos frontales contienen múltiples redes neuronales cuya actividad está relacionada con los procesos cognitivos más flexibles y de mayor complejidad, entre ellos los procesos de control ejecutivo y los implicados en la cognición social y las capacidades de mentalización o teoría de la mente.

Como ya se ha dicho, las estimaciones procedentes de distintos estudios muestran que la red social promedio de los seres humanos es considerablemente mayor que la de los monos superiores más sociables. Pero ¿puede esta red expandirse hasta el infinito? Esta es, al menos, la posibilidad que la cultura de la conectividad nos brinda a través de las nuevas redes sociales. Redes profesionales que ponen a diario en contacto a personas separadas por miles de kilómetros, cuentas personales con cientos de amigos, páginas millonarias de famosos y visionados globales de vídeos más o menos trascendentes explotan al máximo nuestro deseo de socialización y superan con creces los límites de los grupos tradicionales, dándonos la sensación de pertenecer a una comunidad global de límites cada vez más indefinidos. ¿Puede el cerebro con todo ello?, ¿hasta qué punto suponen las nuevas formas de relación virtual una amenaza para los modos tradicionales de convivencia basados en la interacción cara a cara?, ¿pueden las nuevas redes sociales fomentar comportamientos poco saludables que en los casos más extremos den lugar a nuevas patologías mentales? Una respuesta clara y unívoca a estas preguntas es actualmente imposible. La implantación de las redes virtuales ha

sido tan rápida y su impacto tan potente que aún no hemos tenido tiempo de valorar adecuadamente sus posibles consecuencias psicológicas y sociales. Aun así, hay datos que apuntan algunas conclusiones provisionales, inesperadas en algunos casos y más predecibles en otros.

Contra lo que pudiera parecer, algunos estudios indican que el promedio de contactos que mantenemos en las redes más populares, como Facebook, no se aleja mucho del de los grupos sociales naturales. Un estudio del ya citado Dunbar, llevado a cabo en 2015, contó con la colaboración de una amplia muestra de población británica representativa de un amplio rango de edades (18-65 años) y equiparada en términos de sexo y procedencia geográfica. Los participantes respondieron a un cuestionario que incluía varias preguntas como el número de amigos en Facebook, cuántos de ellos consideraban como íntimos y a cuántos se dirigirían en busca de apoyo emocional en momentos difíciles. Mediante estas preguntas se pretendía conocer tanto el tamaño de su red virtual como el número de miembros que formaban parte de los dos círculos más internos de la estructura de la red, el círculo íntimo de apoyo emocional y el círculo de amigos cercanos o red de simpatía. Los resultados mostraron una sorprendente similitud con los números característicos de las redes sociales naturales, al menos en cuanto a las tendencias promedio. Esto fue así no sólo en cuanto al número total de contactos en la red virtual sino también por lo que se refiere al número de amigos (en torno a cinco y quince) en las capas más internas de la red. Otros datos significativos del estudio de Dunbar fueron la relación inversa entre edad y número de contactos (los más jóvenes tenían redes más amplias) y el significativamente superior número de contactos en las mujeres por comparación con los hombres, con independencia de la edad. Menos esperable y más interesante fue la observación de que el tamaño de los círculos más íntimos, el de apoyo emocional y el de simpatía, se mantenían invariables con la edad, lo que probablemente indica la actuación de factores prácticos y psicológicos que limitan el número de nuestras relaciones personales más íntimas a lo largo de toda la vida adulta.

Los resultados del estudio recién comentado muestran que algunas características básicas de la estructura de los grupos sociales naturales sí se mantienen en las redes sociales virtuales. Aunque otros estudios indican que esto podría no siempre ser así, el trabajo de Dunbar indica que, igual que

ocurre en las redes sociales tradicionales, las redes sociales virtuales contienen un núcleo reducido de relaciones íntimas rodeado por capas cada vez más extensas que incluyen personas con las que mantenemos relaciones progresivamente más distantes y con una menor proximidad emocional. Esta conclusión es reforzada por la observación de que la frecuencia de contactos en cada capa de las redes virtuales es similar a la que se observa en las capas correspondientes de las redes sociales reales. Todo ello nos lleva a la conclusión de que, por lo general, tendemos a utilizar las redes virtuales más como una continuación de nuestras relaciones sociales tradicionales que como un modo de superar los límites que nuestro cerebro y nuestro tiempo imponen a nuestros deseos de sociabilidad. En el fondo, quizá no se trate tanto de expandir nuestro círculo social, como de mantenerlo vivo por otros medios.

Neurociencia de las redes sociales

La interacción social en el mundo virtual se basa en procesos cognitivos y substratos cerebrales que quizá no sean tan diferentes a los implicados en las formas más tradicionales de sociabilidad. Así lo afirman los autores de un artículo publicado en 2015, titulado «La neurociencia emergente de las redes sociales», en el que reflexionan sobre las posibilidades que las nuevas formas de comunicación interpersonal abren al estudio de nuestra mente social. Como formas de comunicación entre agentes provistos de estados mentales, de intenciones y deseos, la interacción en las redes sociales, sean reales o virtuales, requiere, en primer lugar, el uso de nuestras capacidades de «mentalización», la puesta en práctica de esa teoría intuitiva de la mente mediante la cual continuamente hacemos suposiciones acerca de las intenciones y estados mentales de los demás y evaluamos el modo en que pueden reaccionar a nuestra conducta; ¿qué impresión pretende causar este amigo al cambiar su foto de perfil?, ¿cómo se va a recibir en el grupo de WhatsApp la noticia de que no me apetece apuntarme al plan de fin de semana?, ¿qué pensarán mis compañeros de clase o de oficina si hago ver que mis preferencias políticas no coinciden con las suyas? En segundo lugar, la selección y difusión de información acerca de uno mismo (¿cuál de los *selfies*

que estoy barajando me favorece más?) requiere un modo de procesamiento autorreferente centrado en nuestras experiencias, preferencias y sentimientos, como en el caso más evidente de la pregunta de la cabecera de Facebook, «¿Qué estás pensando?». Por último, el incesante trasiego de «Me gusta», comentarios y visitas proporciona premios y castigos, reacciones positivas o negativas a nuestra propia persona que se traducen en sentimientos de orgullo y satisfacción o, en el peor de los casos, rabia y frustración. Igual que en el mundo real y quizá con mayor frecuencia, estos sentimientos son desencadenados al comparar nuestros logros con los de los demás, desde el número de reacciones y alabanzas a nuestras publicaciones a los lugares de vacaciones y las fotos de fiestas con amigos y reuniones familiares que pueden llevar a algunos usuarios a sentirse desplazados o menos afortunados socialmente.

Mentalización, procesamiento autorreferente y procesos afectivos y de recompensa constituyen la tríada psicológica de la interacción social en el mundo real y también en el virtual. Pero, aunque coincidan en esto, los nuevos medios de interacción social requieren también la adaptación a anomalías como la ausencia de *feedback* expresivo y gestual. Esa información es esencial para ejercer nuestra capacidad para penetrar en la mente de los demás y su ausencia va necesariamente en detrimento de la espontaneidad y la riqueza de matices en las interacciones virtuales. A consecuencia de anomalías como ésta, la interacción en las nuevas redes sociales carece de uno de los elementos esenciales de la interacción humana, la empatía mediante la cual leemos la mente de los otros y captamos intuitivamente el sentido de sus actos e inferimos sus sentimientos y emociones.

Actualmente tenemos un conocimiento razonable de los sistemas cerebrales de los que dependen los procesos cognitivos y afectivos implicados en la interacción social. Por una parte, la teoría de la mente y otros procesos relacionados con la cognición social dependen de la actividad de una red de áreas cerebrales que comprende regiones interconectadas de los lóbulos frontal, temporal y parietal. Distintas áreas de este sistema contienen las así llamadas neuronas espejo, a las que precisamente se les atribuye un papel fundamental en la empatía y la cognición social. El procesamiento autorreferente, por su parte, depende de un conjunto de áreas localizadas a la

largo de la línea media del cerebro y de la llamada red cerebral por defecto. Por último, los efectos emocionales positivos de la socialización, así como las reacciones a la sanción social de nuestra conducta y los procesos de comparación por los que medimos nuestros logros con los de los demás, se basan en la actividad neuronal que tiene lugar en los sistemas de procesamiento afectivo y muy particularmente en los circuitos cerebrales de recompensa. Aunque la investigación sobre el papel de estos sistemas en las nuevas formas de interacción social es aún incipiente, ya hay datos que permiten vislumbrar algunas conclusiones. La intervención del sistema de recompensa y la posible relación entre la morfología cerebral y la interacción en las redes sociales se hallan entre ellas.

Recompensas virtuales

Como ya sabemos, el principal neurotransmisor en el sistema cerebral de recompensa es la dopamina. Los niveles de dopamina y la actividad neuronal en el sistema de recompensa son incrementados por cosas tan diversas como comida, caras atractivas, imágenes eróticas, ganancias económicas, drogas e incluso la contemplación de obras de arte. Por ello se considera que la actividad dopaminérgica en el sistema de recompensa es algo así como la moneda de cambio que el cerebro emplea como equivalencia de las cosas que nos resultan atractivas. Prueba de ello es que las recompensas sociales, como la aprobación de nuestros actos por parte de los demás, o el conocimiento de nuestra buena reputación y de la buena impresión que causamos en los demás, son también eficaces estímulos para ese sistema. De hecho, se ha comprobado que recibir evaluaciones positivas sobre nuestra personalidad o experimentar una mejora de nuestro estatus social induce un incremento en la actividad de regiones del sistema de recompensa como el estriado ventral y la corteza orbitofrontal, un efecto similar al producido por las ganancias monetarias.

El *feedback* que los usuarios de las redes sociales reciben sobre sus fotos o comentarios cumple una función equivalente a los gestos de aprobación o las palabras reconfortantes en la interacción social tradicional. Con la ventaja aparente de que internet nos permite mostrar a los demás nuestro éxito en

cifras, obteniendo el refuerzo añadido del reconocimiento público de nuestra popularidad. Dada la insistencia con que buscamos los «Me gusta» de redes como Facebook o Instagram, está claro que este resultado de un simple golpe de tecla se ha convertido en una nueva y apreciada variedad de recompensa social. La evidencia disponible hasta el momento indica, en efecto, que tanto la recepción de reacciones positivas a las propias publicaciones como el hecho de proporcionarlas uno mismo, logran poner en marcha regiones del sistema de recompensa, como el estriado ventral, que son activadas por las variedades más tradicionales de recompensa social. Una observación aún más llamativa es que la respuesta del núcleo *accumbens* a la información positiva sobre nuestra reputación permite predecir la frecuencia y tiempo de uso de Facebook. En el estudio en que se obtuvo este resultado, los participantes recibían en distintos momentos ganancias monetarias o eran informados de la reacción positiva de supuestos evaluadores hacia ellos mismos o hacia otros participantes mientras permanecían en el escáner de resonancia magnética. Tanto el dinero como las reacciones positivas dirigidas al propio participante dieron origen a un incremento del tráfico neuronal en el núcleo *accumbens*. Los patrones de actividad neuronal en ambas condiciones prácticamente se superponían, indicando que ambos tipos de recompensa eran tratados de forma similar por el cerebro. Pero el dato más importante fue que sólo la intensidad de la respuesta cerebral a la información acerca de uno mismo permitía predecir la intensidad de uso de Facebook. La respuesta neuronal a las ganancias monetarias, en cambio, no guardaba relación alguna con el interés que los sujetos manifestaban por la red social. Este resultado es equivalente al de otros estudios en los que se ha observado que la intensidad de la respuesta del estriado ventral a recompensas naturales como la comida o el sexo predice de forma fiable el comportamiento alimenticio y el deseo sexual. En resumen, la sensibilidad de este sistema neuronal a un determinado tipo de recompensa permite predecir lo motivado que el sujeto estará para ir a buscarla. Esto es así para las recompensas más tradicionales y también para las pequeñas recompensas que a diario nos brindan las redes sociales.

La investigación sobre las bases neurobiológicas de la interacción social ha descubierto sorprendentes correlaciones entre la morfología cerebral y variables como el tamaño y la complejidad de los grupos sociales. Por

ejemplo, variables como la densidad de la materia gris en distintas regiones del cerebro social o el volumen de la amígdala, están positivamente correlacionadas con el tamaño y la complejidad de las redes sociales de que forma parte una persona. Pues bien, nuevas evidencias indican que algo similar ocurre en el caso de las redes sociales virtuales, cuyo tamaño se halla correlacionado con distintas variables morfológicas del cerebro social. Concretamente, se ha observado una correlación positiva entre el volumen de dos regiones implicadas en la cognición social, la corteza orbitofrontal y, de nuevo, la amígdala, y el número de amigos en Facebook. Un grupo mayor de amigos, sean reales o virtuales, parece llevar aparejado un incremento en el volumen de las regiones cerebrales encargadas de procesar la información referida a nuestros semejantes. Desde el punto de vista de la hipótesis del cerebro social estas correlaciones no deberían sorprendernos. En realidad, son exactamente lo que cabría esperar, una demostración de la premisa básica de que un mundo social más complejo requiere de un cerebro más grande y sofisticado.

5. ¿Nuevos medios, nuevas adicciones?

La quinta y última edición del DSM (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, o *DSM-V*), el catálogo de referencia para la clasificación de los trastornos psiquiátricos, incluye una nueva categoría diagnóstica: el trastorno de juego *online*. Eso sí, la categoría aparece con la etiqueta provisional de «posible trastorno que requiere investigación adicional». Esta precaución refleja las dudas de investigadores y profesionales de la salud mental acerca de la naturaleza de algunos trastornos conductuales de reciente aparición y que tienen en común el uso masivo y descontrolado de las nuevas tecnologías, especialmente por parte de jóvenes y adolescentes. El trastorno del juego *online* es sólo una de esas posibles adicciones tecnológicas. Se ha hablado también de un trastorno específico relacionado con el uso compulsivo y descontrolado de las redes sociales o, en un sentido más general, de adicción a internet o adicciones tecnológicas. Todas estas condiciones conllevan un uso excesivo y prolongado de las nuevas tecnologías en sus

distintas variantes y comparten algunas características con trastornos como la adicción a drogas o la ludopatía. Preocupación obsesiva y pérdida del autocontrol son las dos principales características psicológicas de estos trastornos, que en el caso de las nuevas adicciones se corresponderían con la constante obsesión por las actividades realizadas en entornos digitales y por un uso desmedido de las mismas que resulta difícil o imposible controlar.

Las características de abundancia, inmediatez y simultaneidad convierten a los nuevos entornos digitales en algo similar a los llamados estímulos «supernormales», estímulos que, al exagerar las propiedades de ciertos estímulos naturales, se convierten en ganchos psicológicos con un poder mucho mayor de atracción que los originales a los que imitan. Un ejemplo bien conocido en el mundo animal es el del espléndido y abigarrado plumaje que el macho del pavo real despliega como medio de atracción en sus rituales de cortejo. Ejemplos similares en nuestra especie son la exageración artificial de caracteres sexuales secundarios como el tamaño de los senos o el grosor de los labios femeninos o de los rasgos infantiles en los personajes de cómics y dibujos animados. En un sentido similar podría decirse que las drogas actúan también como estímulos o recompensas supernormales, al producir con mucha mayor rapidez e intensidad efectos que replican el bienestar producido por las recompensas naturales. Desde este punto de vista, los entornos ofrecidos por las redes sociales virtuales o los sitios de sexo o juego *online* podrían deber parte de su potencial adictivo precisamente a su capacidad para replicar y magnificar los efectos de las recompensas naturales en ausencia de muchos de los inconvenientes que plantea su consecución en el mundo real.

Es difícil determinar cuándo el uso de las nuevas tecnologías por motivos no profesionales o instrumentales, como organizar un viaje o encargar la compra de la semana, rebasa los límites de la normalidad y se adentra en el terreno de los hábitos no saludables y la pura adicción. No todas las pautas de uso excesivo pueden considerarse patológicas o indicativas de un trastorno adictivo. En su manifestación más completa, la adicción conlleva un complejo de alteraciones motivacionales, afectivas y psicofisiológicas como la tolerancia (necesidad de una dosis cada vez mayor para provocar el mismo efecto) y el síndrome de abstinencia (un estado de intenso malestar físico y psíquico producido por la privación), que no siempre aparecen asociadas al

uso abusivo de las nuevas tecnologías. Por otra parte, un criterio que es preciso tener en cuenta es que la conducta considerada problemática debe interferir de modo significativo con el funcionamiento normal del sujeto en diversos ámbitos como la familia, las relaciones sociales o el entorno académico.

Encerrarse con el ordenador a costa de saltarse comidas o perder horas de sueño, chatear constantemente en los foros sociales mientras se abandonan las relaciones sociales en el mundo real o engancharse al juego *online* a pesar de perder dinero, dañar las relaciones familiares y fracasar en los estudios, son ejemplos de interferencia problemática con la vida cotidiana. A diferencia de estos patrones claramente desadaptativos, diversos estudios indican que en la mayoría de los casos el uso de las nuevas tecnologías por jóvenes y adolescentes no tiene lugar a costa de las relaciones sociales cara a cara o del abandono de actividades físicas. Este dato no niega el potencial adictivo del uso excesivo de las nuevas tecnologías ni la existencia de casos en los que ese uso traspasa los límites de la normalidad y tiene serias consecuencias sobre el sujeto y su entorno. Sin embargo, la extensión del problema es difícil de evaluar y los estudios epidemiológicos disponibles arrojan resultados enormemente variables. Por ejemplo, una revisión sobre 68 estudios previos publicada en 2014 reveló notables disparidades en los criterios de clasificación y las herramientas diagnósticas, con cifras de prevalencia que oscilan entre menos del 1% y más del 26% según los países.

Los estudios acerca de los efectos del uso descontrolado de los medios digitales sobre el cerebro se han centrado principalmente en la adicción al juego *online*, que es el trastorno adictivo mejor definido y más frecuentemente diagnosticado. Uno de los principales hallazgos de estos estudios es que las alteraciones funcionales y estructurales observadas coinciden con las que se han encontrado en trastornos adictivos más tradicionales, como la adicción a drogas o la ludopatía. Desde el punto de vista conductual, las personas adictas al juego *online* muestran déficits en tareas de laboratorio diseñadas para evaluar los procesos de elección y toma de decisiones, como la popular prueba de juego de Wisconsin⁵¹. Igual que los adictos a drogas, las personas adictas al juego *online* tienden a adoptar un comportamiento menos flexible y a tomar decisiones más arriesgadas que no tienen en cuenta posibles

consecuencias negativas a largo plazo, lo que indica una deficiente capacidad de autocontrol. En cuanto a la actividad cerebral, se ha observado en los adictos al juego *online* un funcionamiento alterado de los circuitos cortico-estriados a través de los cuales los sistemas prefrontales controlan y modulan la actividad de las áreas subcorticales del sistema cerebral de recompensa. Por otra parte, se ha observado también una intensificación de la actividad neuronal en regiones clave del sistema cerebral de recompensa, como el núcleo *accumbens* o el córtex orbitofrontal, en presencia de claves o estímulos asociados al juego o al entorno digital. De modo similar a lo que ocurre en adictos a drogas, este incremento de la actividad cerebral se corresponde a nivel subjetivo con la aparición de un intenso deseo de jugar.

Al comparar personas con patrones excesivos de juego *online* y controles se han observado también alteraciones estructurales en distintas regiones cerebrales. Así, algunos estudios han mostrado incrementos en el volumen de sustancia gris en regiones subcorticales del sistema de recompensa o reducciones en regiones prefrontales. Estudios con personas con uso problemático de las redes sociales han arrojado resultados muy parecidos. En conjunto, los datos de que disponemos actualmente indican que las personas que hacen un uso excesivo y descontrolado de internet y las nuevas tecnologías tienden a mostrar alteraciones en la estructura y funcionamiento de los sistemas cerebrales implicados en el control cognitivo y conductual, la toma de decisiones y los procesos de recompensa. Un patrón muy similar al que se ha observado en asociación con los trastornos adictivos más conocidos y que confirma la idea de un substrato cerebral común a todas las formas conocidas de conducta adictiva.

⁴⁷ Smart P., Heersmink R. y Clowes R. W. The Cognitive Ecology of the Internet. En: Cowley S. y Vallée-Tourangeau F. (eds.) (2017). *Cognition Beyond the Brain*. Berlin, Springer.

⁴⁸ Algunas revistas especializadas en ciberpsicología son *Cyberpsychology, Behavior & Social Networking*; *Cyberpsychology: Journal of Psychosocial Research on Cyberspace*; *Social NetworksComputers in Human Behavior*.

⁴⁹ Platón (2004). *Fedro*. Madrid, Alianza Editorial.

⁵⁰ Un breve pero certero resumen del escándalo, en el que se vio implicado el psicólogo Aleksandr Kogan, de la Universidad de Cambridge, puede encontrarse en el post «Cómo un test de personalidad de Facebook le sirvió a Cambridge Analytica para recolectar información privada de millones de usuarios sin que lo supieran» (<https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-43460702>).

⁵¹ La tarea de juego, o tarea de cartas, de Wisconsin, es una conocida prueba neuropsicológica originalmente diseñada para detectar los efectos cognitivos derivados de la lesión de los lóbulos frontales. El paciente debe ir eligiendo cartas de acuerdo con criterios que van cambiando durante la prueba. Mide la capacidad del paciente para descubrir reglas y modificar flexiblemente su conducta cuando las reglas del juego cambian.

REFERENCIAS

Las referencias incluidas corresponden en su mayor parte a artículos publicados en revistas científicas en los que se presentan los datos y teorías comentados en cada capítulo. Pueden ser útiles para el lector interesado en acudir a las fuentes originales o ampliar la información sobre algún tema concreto. La mayoría de los artículos se encuentran disponibles en formato digital a través de la plataforma gratuita Google Académico (Google Scholar).

CAPÍTULO 1

1. El yo y sus partes

Dos obras actuales destacadas sobre la cuestión del yo desde una perspectiva neurocientífica: Thomas, M. (2009). *The Ego Tunnel: The Science of Mind and the Myth of the Self*. N. York, Basic Books. Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre. ¿Cómo pudo el cerebro generar emociones, sentimientos, ideas y el yo?* Barcelona, Destino.

2. El cuerpo es lo primero

Cómo el cerebro representa nuestro cuerpo

Bud Craig sobre el papel de las sensaciones corporales en la emoción y la conciencia: Craig, A. D. (Bud) (2009). How do you feel-now? The anterior insula and human awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(1).

Sobre el sistema vestibular y su papel en la conciencia corporal: Dieterich, M. y Brandt, T. (2015). The bilateral central vestibular system: its

pathways, functions, and disorders. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1343.1, pp. 10-26. Frank, S. M. y Greenlee, M. W. (2018). The parieto-insular vestibular cortex in humans: more than a single area? *Journal of Neurophysiology*, 120(3), pp. 1438-1450.

El yo y la experiencia del dolor

Rainville, P. *et al.* (1997). Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex. *Science*, 277(5328), pp. 968-971.

Cuando duele el corazón: neurobiología del dolor psicológico

Una demostración clásica del efecto de los opiáceos sobre las vocalizaciones de malestar en animales: Panksepp, J. *et al.* (1978). Reduction of distress vocalization in chicks by opiate-like peptides. *Brain Research Bulletin*, 3(6), pp. 663-667.

Sobre el dolor psicológico producido por la exclusión y el abandono social: Williams, K. *et al.* (2003). Impact of ostracism on social judgments and decisions: Explicit and implicit responses. En Forgas, J. P. *et al.* (eds.), *Social judgments: Implicit and explicit processes*. New York, Cambridge University Press. Kross, E. *et al.* (2011). Social rejection shares somatosensory representations with physical pain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(15), pp. 6270-6275.

Eisenberger, N. I. & Lieberman, M. D. (2004). Why rejection hurts: a common neural alarm system for physical and social pain. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), pp. 294-300.

3. ¿Cómo sé si este cuerpo es mío?

Trastornos de la identidad corporal

Feinberg, T. *et al.* (2010). The neuroanatomy of asomatognosia and somatoparaphrenia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 81(3),

pp. 276-281. Blom, R. *et al.* (2012). Body integrity identity disorder. *PLoS One*, 7(4), e34702. Wolpert, D. *et al.* (1998). Maintaining internal representations: the role of the human superior parietal lobe. *Nature Neuroscience*, 1(6), p. 529.

Sintiendo como propia una mano ajena

Demostración original de la ilusión de la mano de goma: Botvinick, M. y Cohen, J. (1998). Rubber hands «feel» touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), p. 756.

Estudios neurocognitivos sobre la ilusión de la mano de goma: Graziano, M. *et al.* (2000). Coding the location of the arm by sight. *Science*, 290(5497), pp. 1782-1786. Tsakiris, M. (2010). My body in the brain: a neurocognitive model of body-ownership. *Neuropsychologia*, 48(3), pp. 703-712

¿Puede la mente separarse del cuerpo? Viajes astrales y realidad virtual

Inducción experimental de experiencias extracorpóreas: Lenggenhager, B. *et al.* (2007). Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*, 317, pp. 1096-1099. Ehrsson, H. H. (2007). The experimental induction of out-of-body experiences. *Science*, 317, pp. 1048-1048.

Neurología de las experiencias extracorpóreas: Blanke, O. *et al.* (2004). Out-of-body experience and autoscopia of neurological origin. *Brain*, 127(2), pp. 243-258.

4. Dejando vagar la mente

Pensando en mí mismo

Bases cerebrales del procesamiento autorreferente: Northoff, G. *et al.* (2006). Self-referential processing in our brain-a meta-analysis of imaging studies on the self. *Neuroimage*, 31(1), pp. 440-457. Northoff, G. y Bermpohl, F. (2004). Cortical midline structures and the self. *Trends in Cognitive*

Sciences, 8(3), pp. 102-107.

¿Qué hace el cerebro cuando la mente no hace nada? La red cerebral por defecto

Artículo pionero sobre la red por defecto: Raichle, M. *et al.* (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, pp. 676-682. Un artículo más general y actualizado: Raichle, M. (2015). The brain's default mode network. *Annual Review of Neuroscience*, 38, pp. 433-447.

Dejar vagar la mente puede hacernos menos felices: Killingsworth, M. A. y Gilbert, D. T. (2010). A wandering mind is an unhappy mind. *Science*, 330(6006), pp. 932-932.

La red por defecto en el contexto de otras redes cerebrales: Fox, M. *et al.* (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(27), pp. 9673-9678. Hagmann P. *et al.* (2008). Mapping the structural core of human cerebral cortex. *Plos Biology*. 6, pp. 1479-1493

Componentes de la red cerebral por defecto: Andrews-Hanna, J. *et al.* (2010). Functional-anatomic fractionation of the brain's default network. *Neuron*, 65(4), pp. 550-562.

Drogas psicodélicas y red por defecto: Carhart-Harris, R. *et al.* (2014). The entropic brain: a theory of conscious states informed by neuroimaging research with psychedelic drugs. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, p. 20. Muthukumaraswamy, S. *et al.* (2013). Broadband cortical desynchronization underlies the human psychedelic state. *Journal of Neuroscience*, 33(38), pp. 15171-15183.

Red por defecto y salud mental: Jones, D. *et al.* (2011). Age-related changes in the default mode network are more advanced in Alzheimer disease. *Neurology*. Hu, M. *et al.* (2017). A review of the functional and anatomical default mode network in schizophrenia. *Neuroscience Bulletin*, 33(1), pp. 73-84.

5. La memoria y la identidad personal

La memoria episódica y la biografía personal

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. En Tulving, E. y Donaldson, W. (eds.) (1972). *Organization of Memory*. New York: Academic Press.

Conway, M. A. (2005). Memory and the self. *Journal of Memory and Language*, 53(4), pp. 594-628.

Memoria e identidad: lecciones de la amnesia

Rathbone, C. *et al.* (2009). Autobiographical memory and amnesia: Using conceptual knowledge to ground the self. *Neurocase*, 15(5), pp. 405-418.

Memoria, autoconciencia y viajes en el tiempo

Sobre el desarrollo de la memoria episódica: Fivush, R. (2011). The development of autobiographical memory. *Annual Review of Psychology*, 62, pp. 559-582. Ghetti, S. y Bunge, S. A. (2012). Neural changes underlying the development of episodic memory during middle childhood. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(4), pp. 381-395.

Sobre las bases cerebrales de la rememoración episódica: Rugg, M. D. y Vilberg, K. L. (2013). Brain networks underlying episodic memory retrieval. *Current Opinion in Neurobiology*, 23(2), pp. 255-260.

6. Extendiendo los límites del yo

Sobre el efecto de posesión: Morewedge, C. K. y Giblin, C. E. (2015). Explanations of the endowment effect: an integrative review. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(6), pp. 339-348. Knetsch, J. L. (1989). The endowment effect and evidence of nonreversible indifference curves. *The American Economic Review*, 79(5), pp. 1277-1284. Kim, K. y Johnson, M. K.

(2013). Extended self: spontaneous activation of medial prefrontal cortex by objects that are «mine». *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(7), pp. 1006-1012.

CAPÍTULO 2

2. El descubrimiento de las neuronas espejo

Informes originales sobre el descubrimiento de las neuronas espejo: Di Pellegrino G. *et al.* (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91, pp. 176-80; Gallese, V. *et al.* (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, pp. 593-609

Activación del área F5 ante la visión de acciones bucales en monos y personas: Buccino, G. *et al.* (2004). Neural circuits involved in the recognition of actions performed by non-conspecifics: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, pp. 1-14.

Una obra monográfica de los descubridores de las neuronas espejo: Rizzolati, G. y Sinigaglia, C. (2006). *Las neuronas espejo: los mecanismos de la empatía emocional*. Barcelona, Paidós.

Una opinión crítica sobre el concepto de neuronas espejo y su posible relevancia psicológica se encuentra en: Hickok, G. (2009). Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), pp. 1229-1243.

3. ¿Por qué tanto ruido?

Entiendo lo que haces

Neuronas espejo que muestran propiedades motoras y audiovisuales: Kohler, E., Keysers, C. *et al.* (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), pp. 846-848.

Neuronas espejo que disparan ante la visión de acciones incompletas: Umiltá, M. A., Kohler, E. *et al.* (2001). «I know what you are doing»: a neurophysiological study. *Neuron*, 32, pp. 91-101.

Me pongo en tu lugar

Estudio clásico sobre mimetismo facial: Dimberg, U. (1982). Facial reactions to facial expressions. *Psychophysiology*, 19(6), pp. 643-647.

Mimetismo facial y actividad cerebral concomitante: Likowski, K. *et al.* (2012). Facial mimicry and the mirror neuron system: simultaneous acquisition of facial electromyography and functional magnetic resonance imaging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, p. 214.

Hago igual que tú

Una propuesta teórica sobre el papel de las neuronas espejo en la imitación: Heyes, C. (2001). Causes and consequences of imitation. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), pp. 253-261.

4. ¿Hay neuronas espejo en el cerebro humano?

Neuronas espejo y registro de neuronas individuales en el cerebro humano: Mukamel, R., Ekstrom, A. *et al.* (2010). Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Current Biology*, 20(8), pp. 750-756.

Neuronas espejo y movimiento evocado: Fadiga, L. *et al.* (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology*, 73, pp. 2608-2611.

Estudios de neuroimagen: Molenberghs, P. *et al.* (2012). Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(1), pp. 341-349.

Neuronas espejo y ondas cerebrales: Pineda, J. A. (2005). The functional significance of MU rhythms: translating «seeing» and «hearing» into «doing».

Brain Research Reviews, 50(1), pp. 57-68; Actividad EEG y cine: Gastaut, H. J. y Bert, J. (1954). EEG changes during cinematographic presentation, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 6, pp. 433-444.

5. Neuronas espejo y empatía emocional

Empatía para el dolor: Rainville, P. *et al.* (1997). Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex. *Science*, 277(5328), pp. 968-971.

Empatía por el asco. Estudios pioneros de Penfield: Penfield, W., Faulk, M. E. (1955). The insula: further observations on its function. *Brain*, 78, pp. 445-470. Estudio de fMRI: Wicker, B. *et al.* (2003). Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40(3), pp. 655-664.

6. Los límites de la empatía y el dulce sabor de la venganza

Estudio de Tania Singer: Singer, T. *et al.* (2006). Empathic neural responses are modulated by the perceived fairness of others. *Nature*, 439(7075), p. 466.

Estudio sobre castigo altruista: De Quervain, D. *et al.* (2004). The neural basis of altruistic punishment. *Science*, 305(5688), p. 1254.

Empatía hacia personas de otra raza: De Quervain, D. *et al.* (2004). The neural basis of altruistic punishment. *Science*, 305(5688), p. 1254.

7. Imitando a través del espejo

Patrones de activación cerebral: Iacoboni, M. *et al.* (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science*, 286, pp. 2526-2528.

Efecto camaleón: Chartrand, T. L. y Bargh, J. A. (1999). The chameleon

effect: the perception-behavior link and social interaction. *Journal of Personality and Social Psychology*, 76(6), p. 893; Duffy, K. A. y Chartrand, T. L. (2015). Mimicry: causes and consequences. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 3, pp. 112-116.

Modulación del sistema de neuronas espejo: Hogeveen, J. *et al.* (2014). Task-dependent and distinct roles of the temporoparietal junction and inferior frontal cortex in the control of imitation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(7), pp. 1003-1009.

Estudio con bailarines clásicos y *capoeira*: Calvo-Merino, B. *et al.* (2004). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral Cortex*, 15(8), pp. 1243-1249.

8. Desarrollo socioemocional, autismo y espejos rotos

Neuronas espejo y autismo: Rizzolatti, G. y Fabbri-Destro, M. (2010). Mirror neurons: from discovery to autism. *Experimental Brain Research*, 200(3-4), pp. 223-237.

El autismo y la mente social

Déficits de empatía y teoría de la mente en el autismo: Charman, T. *et al.* (1997). Infants with autism: An investigation of empathy, pretend play, joint attention, and imitation. *Developmental Psychology*, 33(5), p. 781.

¿Un espejo roto?

Revisión de las teorías sobre neuronas espejo y autismo: Hamilton, A. F. (2013). Reflecting on the mirror neuron system in autism: a systematic review of current theories. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 3, pp. 91-105.

Ausencia de mimetismo facial espontáneo en autismo: McIntosh, D. *et al.* (2006). When the social mirror breaks: deficits in automatic, but not voluntary, mimicry of emotional facial expressions in autism. *Developmental Science*, 9(3), pp. 295-302; Beall, P. *et al.* (2008). Rapid facial reactions to emotional

facial expressions in typically developing children and children with autism spectrum disorder. *Journal of Experimental Child Psychology*, 101(3), pp. 206-223.

Actividad cerebral ante expresiones faciales en niños autistas: Dapretto, M., Iacoboni, M., 2006. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(12), pp. 942-951.

Supresión de ondas MU en autismo: Oberman, L. *et al.* (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, 24(2), pp. 190-198.

Diferencias estructurales en el sistema de neuronas espejo en autismo: Hadjikhani, N. *et al.* (2005). Anatomical differences in the mirror neuron system and social cognition network in autism. *Cerebral Cortex*, 16(9), pp. 1276-1282.

CAPÍTULO 3

1. Simetría y asimetría

Caras y cuerpos simétricos más atractivos: Perrett, D. I., Burt, D. M., Penton-Voak, I. S., Lee, K. J., Rowland, D. A. y Edwards, R. (1999). Symmetry and human facial attractiveness. *Evolution and human Behavior*, 20(5), pp. 295-307. Brown, W. *et al.* (2008). Fluctuating asymmetry and preferences for sex-typical bodily characteristics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(35), pp. 12938-12943.

Monografía de Brodmann sobre el mapa de la corteza cerebral: Brodmann, K. (1999). *Localisation in the cerebral cortex*. Londres, Imperial College (original en alemán publicado en 1909).

2. ¿Dos mentes y dos cerebros?

Spaulding, L. S., Mostert, M. P. y Beam, A. P. (2010). Is Brain Gym® an

effective educational intervention? *Exceptionality*, 18(1), pp. 18-30.

Estudios transculturales basados en el mito de los dos cerebros: Bogen, J. E. *et al.* (1972). The other side of the brain: IV. The A/P ratio. *Bulletin of the Los Angeles Neurological Society*, 37, pp. 49-61.

Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Madrid, Debate. Edición original en inglés, 2011.

3. Trabajando en equipo

Hemisferios cerebrales y coordinación motora: Fujiyama, H. (2016). Performing two different actions simultaneously: The critical role of interhemispheric interactions during the preparation of bimanual movement. *Cortex*, 77, pp. 141-154.

Percepción a izquierda y derecha

Sobre la visión binocular: Bishop, P. O. y Pettigrew, J. D. (1986). Neural mechanisms of binocular vision. *Vision Research*, 26(9), pp. 1587-1600. Una magnífica descripción de las consecuencias de la ausencia de estereopsis se encuentra en el artículo de Oliver Sacks «Stereo Sue» (2006) publicado en *The New Yorker*, junio; <https://www.newyorker.com/magazine/2006/06/19/stereo-sue>).

Efectos del daño cerebral sobre la localización del sonido: Tanaka, H., Hachisuka, K. y Ogata, H. (1999). Sound lateralisation in patients with left or right cerebral hemispheric lesions: relation with unilateral visuospatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 67(4), pp. 481-486.

Cambios corticales producidos por la inmovilización de una mano: Huber R. *et al.* (2006). Arm immobilization causes cortical plastic changes and locally decreases sleep slow wave activity. *Nature Neuroscience*, 9, pp. 1169-1176.

Inhibición mutua

Sobre el papel de la inhibición interhemisférica en la coordinación motora: Takeuchi, N., Oouchida, Y. y Izumi, S. I. (2012). Motor control and neural plasticity through interhemispheric interactions. *Neural Plasticity*, pp. 1-13. A. Ferbert *et al.* (1992). Interhemispheric inhibition of the human motor cortex», *Journal of Physiology*, 453, pp. 525-546.

The development of the corpus callosum in the healthy human brain. *Journal of Neuroscience*, 30(33), pp. 10985-10990.

Cuerpo calloso y envejecimiento: Cabeza, R. *et al.* (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*, 17(3), pp. 1394-1402.

Aprendiendo a colaborar

Efectos del entrenamiento musical: Lee, D. J., Chen, Y. y Schlaug, G. (2003). Corpus callosum: musician and gender effects. *Neuroreport*, 14(2), pp. 205-209. Patston, L. *et al.* (2007). Attention in musicians is more bilateral than in non-musicians. *Laterality*, 12(3), pp. 262-272. Patston, L. L. *et al.* (2007). The unusual symmetry of musicians: Musicians have equilateral interhemispheric transfer for visual information. *Neuropsychologia*, 45(9), pp. 2059-2065.

4. Enseñanzas del cerebro dividido

Descripción de los resultados de los estudios de cerebro dividido: Sperry, R. (1982). Some effects of disconnecting the cerebral hemispheres. *Science*, 217(4566), pp. 1223-1226.

Encuesta a educadores sobre creencias acerca del cerebro: Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), p. 817.

5. Un intérprete a la izquierda

Teoría del intérprete: Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: Does the corpus callosum enable the human condition? *Brain*, 123(7), pp. 1293-1326.

Descripción del caso JW: Corballis, P. M. (2003). Visuospatial processing and the right-hemisphere interpreter. *Brain and Cognition*, 53(2), pp. 171-176.

Creencias ilusorias en pacientes con daño cerebral derecho: Devinsky, O. (2009). Delusional misidentifications and duplications: Right brain lesions, left brain delusions. *Neurology*, 72(1), pp. 80-87. Feinberg T. E. *et al.* (2005). Right-hemisphere pathology and the self: delusional misidentification and reduplication. En: Feinberg T. E. y Keenan J. P. (eds.), *The Lost Self*. New York: Oxford University Press, 2005.

6. Lateralización del lenguaje

Un hemisferio ilustrado

Estudios sobre la organización cerebral del lenguaje en pacientes con daño cerebral: Dronkers, N. F. *et al.* (2004). Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*, 92(1-2), pp. 145-177.

Area cerebral de lectura de palabras: McCandliss, B. D., Cohen, L. y Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), pp. 293-299.

Técnica alternativa para la determinación de las áreas cerebrales del lenguaje: Knecht, S. *et al.* (1998). Noninvasive determination of language lateralization by functional transcranial Doppler sonography: a comparison with the Wada test. *Stroke*, 29(1), pp. 82-86.

El complemento derecho

Jung-Beeman, M. (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(11), pp. 512-518.

Sobre el humor en el hemisferio derecho: Shammi, P. y Stuss, D. T. (1999). Humour appreciation: A role of the right frontal lobe. *Brain*, 122, pp. 657-666.

Adquisición del lenguaje tras el daño cerebral infantil: Vargha-Khadem, F. *et al.* (1997). Onset of speech after left hemispherectomy in a nine-year-old boy. *Brain*, 120(1), pp. 159-182.

Buscando la diferencia

Estudios pioneros: Geschwind, N. y Levitsky, W. (1968). Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161(3837), pp. 186-187.

Dos revisiones actualizadas de la evidencia: Hutsler, J. y Galuske, R. A. (2003). Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks. *Trends in Neurosciences*, 26(8), pp. 429-435. Chance, S. A. (2014). The cortical microstructural basis of lateralized cognition: a review. *Frontiers in Psychology*, 5, p. 820.

Diferencias estructurales específicas en el cerebro humano: Buxhoeveden, D.P. *et al.* (2001). Lateralization of minicolumns in human planum temporale is absent in non-human primate cortex. *Brain, Behavior and Evolution*. 57, pp. 349-358.

Una reflexión sobre la relación entre diferencias estructurales y funcionales interhemisféricas en relación con el lenguaje: Jung-Beeman, M. (2005). Bilateral brain processes for comprehending natural language. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(11), pp. 512-518.

7. Emociones a izquierda y derecha

Razón frente a emoción

Sobre la figura de J.B. Luys: Parent, A., Parent, M. y Leroux-Hugon, V. (2002). Jules Bernard Luys: a singular figure of 19th century neurology. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 29(3), pp. 282-288.

Prosodia emocional en pacientes con lesiones de hemisferio derecho: Gorelick, P. B. y Ross, E. D. (1987). The aprosodias: further functional-anatomical evidence for the organisation of affective language in the right

hemisphere. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 50(5), pp. 553-560.

Positivo/negativo

Una revisión meta-analítica sobre la organización cerebral de las emociones: Murphy, F. C., Nimmo-Smith, I. A. N. y Lawrence, A. D. (2003). Functional neuroanatomy of emotions: a meta-analysis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3(3), pp. 207-233. Davidson, R. J. y Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(1), pp. 11-21.

Emoción musical y lateralización: Altenmüller, E. *et al.* (2002). Hits to the left, flops to the right: different emotions during listening to music are reflected in cortical lateralisation patterns. *Neuropsychologia*, 40(13), pp. 2242-2256.

Estudio con más de mil participantes, basado en el análisis de la conectividad cerebral: Nielsen, J. A. *et al.* (2013). An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PloS One*, 8(8), p. e71275.

Emociones positivas y negativas: Gotlib, I. H., Ranganath, C. y Rosenfeld, J. P. (1998). Frontal EEG alpha asymmetry, depression, and cognitive functioning. *Cognition & Emotion*, 12, pp. 449-478. Carver, C. S. y Harmon-Jones, E. (2009). Anger is an approach-related affect: evidence and implications. *Psychological Bulletin*, 135(2), p. 183.

Estudios de Jerome Kagan: McManis, M. H., Kagan, J. *et al.* (2002). EEG asymmetry, power, and temperament in children. *Developmental Psychobiology*, 41(2), pp. 169-177.

8. El cerebro creativo

¿Qué es la creatividad?

Definiciones de la creatividad: Amabile, T. M. (1983). The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal of*

Personality and Social Psychology, 45(2), p. 357. Web personal de R. Steinberg: <http://www.robertjsternberg.com/>

¿Dónde se esconde la creatividad?

Revisión de artículos sobre cerebro y creatividad: Dietrich, A. y Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), p. 822.

Estudios sobre actividad cerebral durante el proceso creativo: Shah, C. *et al.* (2013). Neural correlates of creative writing: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 34(5), pp. 1088-1101. Liu, S. *et al.* (2015). Brain activity and connectivity during poetry composition: toward a multidimensional model of the creative process. *Human Brain Mapping*, 36(9), pp. 3351-3372.

Daño cerebral y creatividad: Kaczmarek, B. L. J. (1991). Aphasia in an artist: a disorder of symbolic processing. *Aphasiology*, 5(4-5), pp. 361-371. Seeley, W. W. *et al.* (2007). Unravelling Bolero: progressive aphasia, transmodal creativity and the right posterior neocortex. *Brain*, 131(1), pp. 39-49.

Desactivación cerebral durante la improvisación musical: Limb, C. J. y Braun, A. R. (2008). Neural substrates of spontaneous musical performance: an FMRI study of jazz improvisation. *PLoS One*, 3(2), p. e1679.

Creatividad en la demencia fronto-temporal: Miller, B. L. *et al.* (1998). Emergence of artistic talent in frontotemporal dementia. *Neurology*, 51(4), pp. 978-982.

Estudios de Snyder sobre facilitación del talento creativo por estimulación cerebral: Chi, R. P. y Snyder, A. W. (2011). Facilitate insight by non-invasive brain stimulation. *PloS One*, 6(2), p. e16655. Bossomaier, T. y Snyder, A. (2004). Chi, R. P. y Snyder, A. W. (2012). Brain stimulation enables the solution of an inherently difficult problem. *Neuroscience Letters*, 515(2), pp. 121-124.

9. Creatividad, libertad y control

Beaty, R. E., Benedek, M., Kaufman, S. B. y Silvia, P. J. (2015). Default and executive network coupling supports creative idea production. *Scientific Reports*, 5, pp. 10964.

Beaty, R. E. *et al.* (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(2), pp. 87-95.

CAPÍTULO 4

1. Emoción, placer y afecto positivo

Una excelente revisión del concepto de placer en psicología: Frijda, N. On the Nature and Function of Pleasure. En Kringelbach, N. y Berridge, K. (eds.) (2009). *Pleasures of the Brain*. N. York, Oxford University Press.

Sobre el afecto básico como componente de las emociones: Russell, J. A. (2003). Core affect and the psychological construction of emotion. *Psychological Review*, 110(1), p. 145.

Una exposición de la concepción evolucionista de las emociones: Cosmides, L. y Tooby, J. Evolutionary psychology and the emotions. *Handbook of Emotions*, 2(2), pp. 91-115. Lewis, M. y Haviland-Jones, J. M. (2000). N. York, Guilford.

Un tratamiento actualizado y objetivo de la cuestión de las emociones animales por una reputada especialista en la materia: Dawkins, M. S. (2000). Animal minds and animal emotions. *American Zoologist*, 40(6), pp. 883-888.

2. Placer y motivación en el cerebro

El sistema cerebral de recompensa

El primer informe sobre los efectos de la estimulación cerebral reforzante: Olds, J. y Milner, P. (1954). Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of rat brain. *Journal of*

Comparative and Physiological Psychology, 47(6), p. 419.

Sobre la neuroanatomía del sistema de recompensa: Lehericy, S. *et al.* (2004). Diffusion tensor fiber tracking shows distinct corticostriatal circuits in humans. *Annals of Neurology*, 55(4), pp. 522-529.

Estudios de neuroimagen sobre la respuesta del cerebro humano a la recompensa: Breiter H. C. *et al.* (2001). Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses. *Neuron*, 30, pp. 619-639. Gottfried, J. *et al.* (2003). Encoding predictive reward value in human amygdala and orbitofrontal cortex. *Science*, 301(5636), pp. 1104-1107.

Teoría de Berridge y Robinson: Berridge, K., Robinson, T., Aldridge, J. (2009). Dissecting components of reward: «liking», «wanting», and learning. *Current Opinion in Pharmacology*, 9, pp. 65-73.

3. Cuando el placer pierde su brillo

Depresión: ¿un trastorno motivacional?

Procesamiento anómalo de la recompensa en la depresión: Hägele, C. *et al.* (2015). Dimensional psychiatry: reward dysfunction and depressive mood across psychiatric disorders. *Psychopharmacology*, 232(2), pp. 331-341. Admon, R. y Pizzagalli, D. A. (2015). Corticostriatal pathways contribute to the natural time course of positive mood. *Nature Communications*, 6, p. 10065.

Sobre anhedonia y depresión: Treadway, M. T. y Zald, D. H. (2011). Reconsidering anhedonia in depression: lessons from translational neuroscience. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(3), pp. 537-555.

Enfoques terapéuticos: Morishita, T. *et al.* (2014). Deep brain stimulation for treatment-resistant depression: systematic review of clinical outcomes. *Neurotherapeutics*, 11(3), pp. 475-484. Hopko, D. R. *et al.* (2003). Contemporary behavioral activation treatments for depression: Procedures, principles, and progress. *Clinical Psychology Review*, 23(5), pp. 699-717.

¿Qué ocurre en el cerebro adicto?

Una exposición actualizada de la concepción de la adicción como trastorno cerebral: Volkow, N. *et al.* (2016). Neurobiologic advances from the brain disease model of addiction. *New England Journal of Medicine*, 374(4), pp. 363-371.

Una versión clara y actualizada de la teoría de la sensibilización de incentivo aplicada a la adicción: Berridge, K. C. y Robinson, T. E. (2016). Liking, wanting, and the incentive-sensitization theory of addiction. *American Psychologist*, 71(8), p. 670.

4. Variedades del afecto positivo: emociones de la acción

Disfruta de lo que haces: emoción y experiencias de flujo

Sobre la experiencia de flujo: Csikszentmihalyi, M. y Selega, I. (1998). *Experiencia óptima. Estudios psicológicos del flujo en la conciencia*. Bilbao, Desclée, 1998.

Correlatos psicofisiológicos de la experiencia de flujo: Harmat, L. *et al.* (2015). Physiological correlates of the flow experience during computer game playing. *International Journal of Psychophysiology*, 97(1), pp. 1-7. Peifer, C. *et al.* (2015). Cortisol effects on flow-experience. *Psychopharmacology*, 232(6), pp. 1165-1173.

Bases cerebrales de la experiencia de flujo: Ulrich, M. *et al.* (2015). Neural signatures of experimentally induced flow experiences identified in a typical fMRI block design with BOLD imaging. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(3), pp. 496-507. Klasen, M. *et al.* (2011). Neural contributions to flow experience during video game playing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 7(4), pp. 485-495.

Bienestar inducido por el ejercicio: Heyman, E. *et al.* (2012). Intense exercise increases circulating endocannabinoid and BDNF levels in humans-possible implications for reward and depression. *Psychoneuroendocrinology*, 37(6), pp. 844-851.

Buscando sensaciones

Dopamina y búsqueda de sensaciones: Munafò, M. R. *et al.* (2008), Association of the dopamine D4 receptor (DRD4) gene and approach-related personality traits: meta-analysis and new data. *Biological Psychiatry*, 63, pp. 197-206. Norbury, A. y Husain, M. (2015). Sensation-seeking: dopaminergic modulation and risk for psychopathology. *Behavioural Brain Research*, 288, pp. 79-93.

5. Placeres superiores: el arte como recompensa

Placer estético, placer sensorial

Arte y percepción: Zeki, S. (2005). *Visión interior. Una investigación sobre el arte y el cerebro*. Madrid, Antonio Machado Libros. Cavanagh, P. (2005). The artist as neuroscientist. *Nature*, 434(7031), p. 301.

Una exposición de los principios básicos de la neuroestética: Chatterjee, A. y Vartanian, O. (2014). Neuroaesthetics. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(7), pp. 370-375.

La emoción estética y el sistema de recompensa

Imágenes de coches como recompensas: Erk, S. *et al.* (2002). Cultural objects modulate reward circuitry. *Neuroreport*, 13(18), pp. 2499-2503.

Respuestas cerebrales a las obras de arte: Vessel, E. *et al.* (2012). The brain on art: intense aesthetic experience activates the default mode network. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, p. 66.

Influencias contextuales sobre la percepción artística: Kirk, U. *et al.* (2009). Modulation of aesthetic value by semantic context: An fMRI study. *Neuroimage*, 44(3), pp. 1125-1132.

Música y escalofríos

Blood, A. J. y Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), pp. 11818-11823.

CAPÍTULO 5

1. ¿Algo más que una moda psicológica?

Pagnini, F. y Phillips, D. (2015). Being mindful about mindfulness. *The Lancet Psychiatry*, 2(4), pp. 288-289.

2. Psicología de la meditación

Una evaluación crítica del *MF* y sus aplicaciones: Van Dam, N. T. *et al.* (2018). Mind the hype: A critical evaluation and prescriptive agenda for research on mindfulness and meditation. *Perspectives on Psychological Science*, 13(1), pp. 36-61.

Una exposición técnica y actualizada sobre las funciones de control ejecutivo: Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, pp. 135-168.

3. La meditación y el control de la atención

Goleman, D. y Davidson, R. (2017). *Rasgos alterados: La ciencia revela cómo la meditación cambia la mente, el cuerpo y el cerebro*. Penguin.

Teoría de las redes atencionales: Posner, M. I. y Rothbart, M. K. (2007). Research on attention networks as a model for the integration of psychological science. *Annual Review of Psychology*, 58, pp. 1-23.

Efectos de la meditación sobre la atención: Ainsworth, B. *et al.* (2013).

The effect of focused attention and open monitoring meditation on attention network function in healthy volunteers. *Psychiatry Research*, 210(3), pp. 1226-1231. Jha, A. *et al.* (2007). Mindfulness training modifies subsystems of attention. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(2), pp. 109-119. Rueda, M. *et al.* (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(41), pp. 14931-14936.

Brefczynski-Lewis, J. A. *et al.* (2007). Neural correlates of attentional expertise in long-term meditation practitioners. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(27), pp. 11483-11488.

4. Aprendiendo a controlar las emociones

Sobre la regulación emocional y sus variedades: Gross, J. J. (2014). Emotion regulation: Conceptual and empirical foundations. En Gross, J. J. (ed.), *Handbook of Emotion Regulation*. New York, Guilford Press.

Efectos del entrenamiento en *mindfulness* sobre la regulación emocional: Guendelman, S. *et al.* (2017). Mindfulness and emotion regulation: Insights from neurobiological, psychological, and clinical studies. *Frontiers in Psychology*, 8, p. 220.

5. La meditación en la consulta del psicólogo

Pero... ¿funciona?

Aplicaciones clínicas: Kabat-Zinn, J. Full. (1990). *Catastrophe Living: Using the Wisdom of Your Body and Mind to Face Stress, Pain and Illness*. Bantam Books. Segal, Z. *et al.* (2002). *Mindfulness-Based Cognitive Therapy for Depression: A New Approach to Preventing Relapse*. N. York, Guilford Press.

Sobre la eficacia terapéutica de la meditación: Dimidjian, S. y Segal, Z. V. (2015). Prospects for a clinical science of mindfulness-based intervention.

American Psychologist, 70(7), p. 593. Goyal, M. *et al.* (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, 174(3), pp. 357-368.

Medita con tu `smartphone`

Las citas están tomadas de las siguientes direcciones web:
<https://psicologiaymente.net/meditacion/apps-mindfulness>;

<https://www.headspace.com/headspace-meditation-app>

Spijkerman M., Pots W. y Bohlmeijer E. (2016). Effectiveness of online mindfulness-based interventions in improving mental health: a review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Clinical Psychology Review*, 2016(45), pp. 102-14.

6. ¿La meditación cambia el cerebro?

El cerebro en meditación

Correlatos neuronales de la meditación: Tang, Y. *et al.* (2015). The neuroscience of mindfulness meditation. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(4), p. 213. Grant, J. *et al.* (2011). A non-elaborative mental stance and decoupling of executive and pain-related cortices predicts low pain sensitivity in Zen meditators. *Pain*, 152(1), pp. 150-156.

¿Puede la meditación alterar la morfología cerebral?

Fox, K. C. *et al.* (2014). Is meditation associated with altered brain structure? A systematic review and meta-analysis of morphometric neuroimaging in meditation practitioners. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 43, pp. 48-73. Hölzel, B. K. *et al.* (2011). Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 191(1), pp. 36-43.

7. La meditación, ¿medicina para el cuerpo?

Buchholz, L. (2015). Exploring the promise of mindfulness as medicine. *JAMA*, 314(13), pp. 1327-1329.

Meditación y función immune: Black, D. S. y Slavich, G. M. (2016). Mindfulness meditation and the immune system: a systematic review of randomized controlled trials. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1373(1), pp. 13-24.

Efectos de la meditación sobre la telomerasa: Schutte, N. S. y Malouff, J. M. (2014). A meta-analytic review of the effects of mindfulness meditation on telomerase activity. *Psychoneuroendocrinology*, 42, pp. 45-48. Pagnoni, G. y Cekic, M. (2007). Age effects on gray matter volume and attentional performance in Zen meditation. *Neurobiology of Aging*, 28(10), pp. 1623-1627.

CAPÍTULO 6

1. Neuro... ¿qué?

Weisberg, D. S., Keil, F. C., Goodstein, J., Rawson, E. y Gray, J. R. (2008). The seductive allure of neuroscience explanations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(3), pp. 470-477.

2. Neuroeducación y mitología cerebral

Una opinión crítica y bien informada sobre la neuroeducación y sus promesas: Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), p. 817.

Predominio de los neuro-mitos en docentes españoles: Ferrero, M., Garaizar, P. y Vadillo, M. A. (2016). Neuromyths in education: prevalence among Spanish teachers and an exploration of cross-cultural variation.

Frontiers in Human Neuroscience, 10, p. 496.

Una opinión crítica sobre la teoría de los estilos de aprendizaje: Willingham, D. *et al.* (2015). The scientific status of learning styles theories. *Teaching of Psychology*, 42(3), pp. 266-271.

El mito de los dos cerebros

Sobre las diferencias entre cerebro masculino y femenino: Ruigrok, A. N. *et al.* (2014). A meta-analysis of sex differences in human brain structure. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 39, pp. 34-50.

Moir, A. (1991). *El sexo en el cerebro, la verdadera diferencia entre hombre y mujer*. Barcelona, Planeta, 1991.

3. Plasticidad neuronal: la base neurobiológica del aprendizaje y la educación

Estructura y función: las dos caras de la plasticidad neuronal

Las investigaciones de Kandel sobre la memoria se describen de forma clara y accesible en el libro *En busca de la memoria: nacimiento de una nueva ciencia de la mente*. Madrid, Katz, 2007. Para una exposición más especializada ver: Kandel, E. R., Dudai, Y. y Mayford, M. R. (2014). The molecular and systems biology of memory. *Cell*, 157(1), pp. 163-186.

Neurogénesis: el nacimiento de nuevas neuronas

Neuronas que sobreviven a su propietario: Magrassi, L., Leto, K. y Rossi, F. (2013). Lifespan of neurons is uncoupled from organismal lifespan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201217505.

Descubrimiento de la neurogénesis en el cerebro del canario: Goldman, S. A. y Nottebohm, F. (1983). Neuronal production, migration, and differentiation in a vocal control nucleus of the adult female canary brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80(8), pp. 2390-2394. Un antecedente de estos

descubrimientos: Altman, J. y Das, G. D. (1965). Post-natal origin of microneurones in the rat brain. *Nature*, 207(5000), pp. 953-956.

Una revisión actualizada sobre la neurogénesis en el cerebro adulto: Opendak, M. y Gould, E. (2015). Adult neurogenesis: a substrate for experience-dependent change. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(3), pp. 151-161.

4. Cómo la educación modifica el cerebro: el ejemplo de la lectura

Una red cerebral para la lectura

Reading in the brain of children and adults: A meta-analysis of 40 functional magnetic resonance imaging studies. *Human Brain Mapping*, 36(5), pp. 1963-1981.

Sobre el desarrollo del sistema cerebral de la lectura: Turkeltaub, P. *et al.* (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6, pp. 767-773.

Estudio sobre la lectura en estudiantes ingleses e italianos: Paulesu, E. *et al.* (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, 3(1), p. 91.

Estudio con guerrilleros colombianos: Carreiras, M. *et al.* (2009). An anatomical signature for literacy. *Nature*, 461(7266), p. 983.

La dislexia y el cerebro

Alteraciones de la actividad cerebral durante la lectura: Shaywitz, B. A. *et al.* (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52, pp. 101-110.

Efectos cerebrales del tratamiento de la dislexia: Simos, P. G. *et al.* (2002). Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology*, 58(8), pp. 1203-1213. Temple, E. *et al.* (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral

remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5), pp. 2860-2865.

Sobre la relación entre la dislexia y el síndrome de Meares-Irlen: Kriss, I. & Evans, B. J. (2005). The relationship between dyslexia and Meares-Irlen Syndrome. *Journal of Research in Reading*, 28(3), pp. 350-364.

5. El cerebro en desarrollo

Experiencia temprana y periodos críticos

Desarrollo del lenguaje en niños con lesiones cerebrales: Chilosi, A. *et al.* (2005). Atypical language lateralization and early linguistic development in children with focal brain lesions. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(11), pp. 725-730.

Efecto de la estimulación precoz: Bonnier, C. (2008). Evaluation of early stimulation programs for enhancing brain development. *Acta Paediatrica*, 97(7), pp. 853-858.

Trayectorias de desarrollo

Desarrollo cerebral en la adolescencia: Fuhrmann, D., Knoll, L. J. y Blakemore, S. J. (2015). Adolescence as a sensitive period of brain development. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(10), pp. 558-566.

Desarrollo cerebral post-natal: Webb, S. J., Monk, C. S. y Nelson, C. A. (2001). Mechanisms of postnatal neurobiological development: implications for human development. *Developmental Neuropsychology*, 19(2), pp. 147-171 (p. 156).

Sobre las consecuencias del desarrollo cerebral en diferentes periodos vitales: Andersen, S. L. (2003). Trajectories of brain development: point of vulnerability or window of opportunity? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 27(1-2), pp. 3-18. Tamnes, C. K. *et al.* (2013). Brain development and aging: overlapping and unique patterns of change. *Neuroimage*, 68, pp. 63-74.

6. ¿Es el cerebro adolescente un motor sin conductor?

A vueltas con la corteza prefrontal

Sobre la evolución de la corteza prefrontal: Donahue, C. J. *et al.* (2018). Quantitative assessment of prefrontal cortex in humans relative to nonhuman primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201721653.

Memoria operativa y corteza prefrontal: Paus, T., Keshavan, M. y Giedd, J. N. (2008). Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nature Reviews Neuroscience*, 9(12), p. 947.

Olesen, P. J. *et al.* (2003). Combined analysis of DTI and fMRI data reveals a joint maturation of white and grey matter in a fronto-parietal network. *Cognitive Brain Research*, 18, pp. 48-57 (citado en Werchan, D. M. y Amso, D. (2017). A novel ecological account of prefrontal cortex functional development. *Psychological Review*, 124(6), p. 720.

Riesgos adolescentes

El cerebro adolescente como cerebro sin conductor: Steinberg, L. (2005). Cognitive and affective development in adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), pp. 69-74.

Variaciones de la respuesta cerebral en adolescentes: Ernst, M. *et al.* (2005). Amygdala and nucleus accumbens in responses to receipt and omission of gains in adults and adolescents. *Neuroimage*, 25(4), pp. 1279-1291. Silvers, J. A. *et al.* (2015). Concurrent and lasting effects of emotion regulation on amygdala response in adolescence and young adulthood. *Developmental Science*, 18(5), pp. 771-784. Tottenham, N. y Galván, A. (2016). Stress and the adolescent brain: amygdala-prefrontal cortex circuitry and ventral striatum as developmental targets. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 70, pp. 217-227.

Conductas de riesgo en adolescentes: Steinberg, L. (2007). Risk taking in adolescence: New perspectives from brain and behavioral science. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), pp. 55-59.

Toma de decisiones en la Tarea de Iowa: Bechara, A. *et al.* (1997).

Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275(5304), pp. 1293-1295. Hooper, C. J., Luciana, M., Conklin, H. M. y Yarger, R. S. (2004). Adolescents' performance on the Iowa Gambling Task: implications for the development of decision making and ventromedial prefrontal cortex. *Developmental Psychology*, 40(6), p. 1148.

7. Neurociencia y educación: ¿un puente demasiado largo?

Opiniones precavidas sobre las posibilidades de la neuroeducación: Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), pp. 4-16. Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(12), p. 817.

CAPÍTULO 7

1. La memoria emocional

Dos buenas revisiones de la evidencia sobre la influencia de la emoción en la memoria: Kensinger, E. A. y Schacter, D. L. (2008). Memory and emotion. En Lewis, M., Haviland-Jones, J. M. y Barrett, L. F. (eds.) *Handbook of Emotions* (2008) (3rd ed.). N. York, Guilford Press. Kensinger, E. A. (2004). Remembering emotional experiences: The contribution of valence and arousal. *Reviews in the Neurosciences*, 15(4), pp. 241-252.

El artículo original sobre los *flashes* de memoria: Brown, R. y Kulik, J. (1977). Flashbulb memories. *Cognition*, 5(1), pp. 73-99.

2. La memoria en los tribunales

Los datos sobre juicios están basados en: Lipton, A. Recovered memories in the courts. En Sheila Taub (ed.), *Recovered Memories of Child Sexual*

Abuse: Psychological, social and legal perspectives on a contemporary mental health controversy (1999). Springfield, Charles C. Thomas Pub. En una encuesta realizada por la False Memory Syndrome Foundation (FMSF) (<http://www.fmsfonline.org>) se da la cifra de más de 1.800 demandas basadas en recuerdos recuperados en el periodo 1993-1998, aunque los autores del estudio sugieren que el número podría ser mayor, dado que sólo tuvieron noticia de algunas de ellas al llegar a la corte de apelación y por lo tanto es muy probable que muchas no llegaran a su conocimiento. Según los datos proporcionados por la propia FMSF, el número de demandas judiciales basadas en recuerdos recuperados se redujo dramáticamente a finales de los años noventa.

3. Freud y la teoría de la represión

Estudios experimentales de Rosenzweig sobre la represión: Rosenzweig, S. y Mason, G. (1934). An experimental study of memory in relation to the theory of repression. *British Journal of Psychology*, 24(3), pp. 247-265.

Artículos que revisan la evidencia empírica sobre la represión: Holmes, D. S. (1974) Investigations of repression: Differentiated recall of material experimentally or naturally associated with ego threat. *Psychological Bulletin*, 81, pp. 632-53. Holmes, D. (1990) The evidence for repression: An examination of sixty years of research. En Singer, J. (ed.) (2008). *Repression and dissociation: Implications for personality theory, psychopathology and health*. Chicago, University of Chicago Press. Rofé, Y. Does repression exist? Memory, pathogenic, unconscious and clinical evidence. *Review of General Psychology*, 12(1), p. 63.

4. ¿Perdido y encontrado? El destino de los recuerdos traumáticos

Amnesia en supervivientes a los campos de concentración: Merckelbach,

H. *et al.* (2003). Dissociative symptoms and amnesia in Dutch concentration camp survivors. *Comprehensive Psychiatry*, 44(1), pp. 65-69.

Recuerdo de abusos sexuales en la infancia: Williams, L. M. (1994). Recall of childhood trauma: A prospective study of women's memories of child sexual abuse. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 62, pp. 1167-1176. Goodman, G. S. *et al.* (2003). A prospective study of memory for child sexual abuse: New findings relevant to the repressed-memory controversy. *Psychological Science*, 14(2), pp. 113-118.

Un estudio sobre la prevalencia de los recuerdos traumáticos en una muestra amplia de población: Elliott, D. M. (1997). Traumatic events: Prevalence and delayed recall in the general population. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 65(5), p. 811.

5. Recordar lo no vivido: el fenómeno de la falsa memoria

¿Cómo se crea un falso recuerdo?

Estudios de Elizabeth Loftus sobre la creación de falsos recuerdos: Loftus, E. F. (1992). When a lie becomes memory's truth: Memory distortion after exposure to misinformation. *Current Directions in Psychological Science*. Loftus, E. F. (2005). Planting misinformation in the human mind: A 30-year investigation of the malleability of memory. *Learning & Memory*, 12(4), pp. 361-366.

Pero... ¿funciona?

Sobre las técnicas empleadas para recuperar recuerdos traumáticos: Arbuthnott, K. D., Arbuthnott, D. W. y Rossiter, L. (2001). Guided imagery and memory: Implications for psychotherapists. *Journal of Counseling Psychology*, 48(2), p. 123. Stocks, J. T. (1998). Recovered memory therapy: A dubious practice technique. *Social Work*, 43(5), pp. 423-436. Cannell, J., Hudson, J. I. y Pope, H. G., Jr. (2001). Standards for informed consent in recovered memory therapy. *Journal of the American Academy of Psychiatry*

and the Law, 29(2), pp. 138-147.

Informes de organizaciones profesionales sobre las terapias de recuperación de recuerdos traumáticos: <http://www.fmsfonline.org/?ginterest=ProfessionalStatements>

6. Olvidar a propósito

Métodos para el olvido

Michael Anderson sobre el olvido voluntario: Anderson, M. C. y Levy, B. J. (2009). Suppressing unwanted memories. *Current Directions in Psychological Science*, 18(4), pp. 189-194.

El olvido es mayor cuando la información tiene significado emocional: Depue, B. E., Banich, M. T. y Curran, T. (2006). Suppression of emotional and nonemotional content in memory: Effects of repetition on cognitive control. *Psychological Science*, 17(5), pp. 441-447.

¿No hacer igual a no pensar?

Bases cerebrales del olvido voluntario: Anderson, M. C. *et al.* (2004). Neural systems underlying the suppression of unwanted memories. *Science*, 303, pp. 232-235.

Efectos de la estimulación del córtex prefrontal en monos: Sasaki, K. *et al.* (1989). Suppression of visually initiated hand movement by stimulation of the prefrontal cortex in the monkey. *Brain Research*, 495(1), pp. 100-107.

Actividad prefrontal y actividad amigdalara en el olvido voluntario: Depue, B. E., Curran, T. y Banich, M. T. (2007). Prefrontal regions orchestrate suppression of emotional memories via a two-phase process. *Science*, 317(5835), pp. 215-219.

7. Hipocampo y amígdala: dos formas de recordar la

emoción

Un excelente resumen sobre los circuitos cerebrales de la emoción, por uno de los mayores especialistas: LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23(1), pp. 155-184.

Disociación de la memoria explícita e implícita en el hipocampo y la amígdala: Bechara, A. *et al.*, (1995). Double dissociation of conditioning and declarative knowledge relative to the amygdala and hippocampus in humans. *Science*, 269(5227), pp. 1115-1118.

Disociación entre la memoria emocional explícita e implícita en un caso de violación: Christianson, S. Å. y Engelberg, E. Organization of emotional memories. En M. Lewis y J. Haviland (eds.) (1999). *Handbook of Cognition and Emotion* (1.^a ed.). N. York, Guilford.

La amígdala y la potenciación emocional de la memoria: Adolphs, R. *et al.* (1997). Impaired declarative memory for emotional material following bilateral amygdala damage in humans. *Learning & Memory*, 4(3), pp. 291-300.

8. Hormonas para la memoria, un arma de doble filo

Un resumen de la investigación sobre los efectos de la adrenalina en la memoria emocional: Roozendaal, B., McEwen, B. S. y Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the amygdala. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), p. 423.

Reducción del volumen hipocampal en estrés postraumático: Stein, M. B. *et al.* (1997). Hippocampal volume in women victimized by childhood sexual abuse. *Psychological Medicine*, 27(4), pp. 951-959. Gurvits, T. V. *et al.* (1996). Magnetic resonance imaging study of hippocampal volume in chronic, combat-related posttraumatic stress disorder. *Biological Psychiatry*, 40(11), pp. 1091-1099.

Una revisión sobre la amígdala y los mecanismos hormonales en el estrés: Roozendaal, B., McEwen, B. S. y Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the

amygdala. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), p. 423.

CAPÍTULO 8

1. Auge y caída de la hipnopedía

Estudios soviéticos: Bliznitchenko, L. (1967). *Learning During Natural Sleep: A Revolution in Education*. Ed. The Sleep-Learning Association. Balkhashov, I. (1965). The rapid teaching of a foreign language by lessons heard during sleep. *Soviet Psychology and Psychiatry*, 4(2), pp. 20-21.

Estudios norteamericanos: Simon, C. W. y Emmons, W. H. (1956). Responses to material presented during various levels of sleep. *Journal of Experimental Psychology*, 51(2), pp. 89-97.

Estudio sobre asociación entre sonidos y olores durante el sueño: Arzi, A. *et al.* (2012). Humans can learn new information during sleep. *Nature Neuroscience*, 15(10), pp. 1460-1465.

2. ¿Cómo se forma un recuerdo?

Dos revisiones sobre la consolidación por dos de sus principales investigadores: Squire, L. R. y Alvarez, P. (1995). Retrograde amnesia and memory consolidation: a neurobiological perspective. *Current Opinion in Neurobiology*, 5(2), pp. 169-177. McGaugh, J. L. (2000). Memory-a century of consolidation. *Science*, 287(5451), pp. 248-251.

3. Dormir, soñar... tal vez recordar

Dormir para recordar

Memoria declarativa (aprendizaje de vocabulario extranjero) facilitada por

el sueño: Gais, S., Lucas, B. y Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory*, 13(3), pp. 259-262.

Mejor recuerdo después de unos minutos de siesta: Lahl, O. *et al.* (2008). An ultra-short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of Sleep Research*, 17, pp. 3-10.

Aprendizaje de destrezas motoras facilitado por el sueño: Walker, M. P. *et al.* (2002). Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35(1), pp. 205-211.

Solución más eficaz de un problema después de dormir: Wagner, U., Gais, S., Haider, H., Verleger, R. y Born, J. (2004). Sleep inspires insight. *Nature*, 427(6972), pp. 352-355.

El sueño como incubadora de la creatividad: Stickgold, R. y Walker, M. (2004). To sleep, perchance to gain creative insight? *Trends in Cognitive Sciences*, 8(5), pp. 191-192.

Saber cómo sin saber qué, dos variantes de la memoria

Una completa descripción del perfil cognitivo y de memoria del paciente HM: Milner, B., Corkin, S. y Teuber, H. L. (1968). Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of HM. *Neuropsychologia*, 6(3), pp. 215-234. La contribución de HM al estudio de la memoria se resume en: Squire, L. R. (2009). The legacy of patient HM for neuroscience. *Neuron*, 61(1), pp. 6-9.

4. Fases del sueño, memoria y ondas cerebrales

Una fase del sueño para cada tipo de memoria

Sobre el papel de las distintas fases del sueño en la consolidación de la memoria: Diekelmann, S. y Born, J. (2010). The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), p. 114.

Coordinación entre el neocórtex y el hipocampo durante el sueño no-REM: Siapas A. G. y Wilson M. A. (1998). Coordinated interactions between

hippocampal ripples and cortical spindles during slow-wave sleep. *Neuron*, 21(5) pp. 1123-1128. Sirota, A. *et al.* (2003). Communication between neocortex and hippocampus during sleep in rodents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(4), pp. 2065-2069.

Potenciación emocional de la memoria durante el sueño REM: Nishida, M. *et al.* (2008). REM sleep, prefrontal theta, and the consolidation of human emotional memory. *Cerebral Cortex*, 19(5), pp. 1158-1166.

¿Por qué mientras dormimos?

Teoría de la doble consolidación: McClelland, J. L., McNaughton, B. L. y O'reilly, R. C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychological Review*, 102(3), p. 419.

5. Tócala otra vez, Sam: reactivación de los recuerdos durante el sueño

Se vive al menos dos veces

Estudio sobre el hipocampo en taxistas londinenses: Maguire, E. A. *et al.* (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(8), pp. 4398-4403.

El hipocampo, un GPS cerebral

El hipocampo como sistema de representación y aprendizaje espacial: O'keefe, J. y Nadel, L. (1998). *The hippocampus as a cognitive map*. Londres, Clarendon Press.

Estudios sobre reactivación espontánea de recuerdos durante el sueño en animales: Wilson, M. A. y McNaughton, B. L. (1994). Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep. *Science*, 265(5172), pp. 676-

679. Ji, D. y Wilson, M. A. (2007). Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep. *Nature Neuroscience*, 10(1), p. 100.

Reactivación de recuerdos durante el sueño mediante olores en humanos: Rasch, B. *et al.* (2007). Odor cues during slow-wave sleep prompt declarative memory consolidation. *Science*, 315(5817), pp. 1426-1429.

Mejora de la ejecución musical al reproducir la melodía durante el sueño: Antony, J. W. *et al.* (2012). Cued memory reactivation during sleep influences skill learning. *Nature Neuroscience*, 15(8), p. 1114.

6. El cabo suelto de los sueños

Sobre el posible papel de los sueños en la consolidación de la memoria: Wamsley, E. J. y Stickgold, R. (2011). Memory, sleep and dreaming: Experiencing consolidation. *Sleep Medicine Clinics*, 6, pp. 97-108.

Reproducción acelerada de recuerdos durante el sueño: Euston, D. R., Tatsuno, M. y McNaughton, B. L. (2007). Fast-forward playback of recent memory sequences in prefrontal cortex during sleep. *Science*, 318(5853), pp. 1147-1150.

Incorporación demorada en los sueños de experiencias previamente vividas: Van Rijn, E. *et al.* (2015). The dream-lag effect: selective processing of personally significant events during rapid eye movement sleep, but not during slow wave sleep. *Neurobiology of Learning and Memory*, 122, pp. 98-109.

Soñar con una tarea recién aprendida mejora su ejecución: Wamsley, E. J. *et al.* (2010). Dreaming of a learning task is associated with enhanced sleep-dependent memory consolidation. *Current Biology*, 20(9), pp. 850-855.

CAPÍTULO 9

2. Sospechosos habituales: lobotomía, electroshock, farmacología

Historia de la lobotomía: Lerner, B. H. (2005). Last-ditch medical therapy: Revisiting lobotomy. *New England Journal of Medicine*, 353(2), pp. 119-21.

Metaanálisis sobre la eficacia de la TEC: en la depresión: Carney, S. *et al.* (2003). Efficacy and safety of electroconvulsive therapy in depressive disorders: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet*, 361, pp. 799-808.

Mecanismos de acción de la TEC: Krishnan, K. R. R. (2016). How does electroconvulsive therapy work? *Biological Psychiatry*, 79(4), pp. 264-265. Joshi, S.H. *et al.* (2016). Structural plasticity of the hippocampus and amygdala induced by electroconvulsive therapy in major depression. *Biological Psychiatry*, 79(4), pp. 282-292.

Historia del desarrollo de los fármacos antidepresivos: Hillhouse, T. M. y Porter, J. H. (2015). A brief history of the development of antidepressant drugs: From monoamines to glutamate. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 23(1), p. 1.

3. Neuromodulación: nuevos métodos de intervención cerebral

Efectos de la terapia psicológica de la depresión sobre el cerebro: Clark, D. A. y Beck, A. T. (2010). Cognitive theory and therapy of anxiety and depression: Convergence with neurobiological findings. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(9), pp. 418-424.

Evaluación exhaustiva sobre los efectos de la ECP en la enfermedad de Parkinson y sus posibles mecanismos de acción: Perlmutter, J. S. y Mink, J. W. (2006). Deep brain stimulation. *Annual Review of Neuroscience*, 29, pp. 229-257.

Sobre la EMTC como herramienta para alterar el funcionamiento cerebral: Bolognini, N. y Ro, T. (2010). Transcranial magnetic stimulation: disrupting neural activity to alter and assess brain function. *Journal of Neuroscience*, 30(29), pp. 9647-9650.

Fundamentos de la EETC: Paulus, W. (2011). Transcranial electrical

stimulation (tES-tDCS; tRNS, tACS) methods. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(5), pp. 602-617.

4. ¿Rumbo a los superpoderes mentales?

Una nota preventiva

Llamada de atención acerca del uso no supervisado de la estimulación cerebral: Wurzman, R., Hamilton, R. H., Pascual-Leone, A. y Fox, M. D. (2016). An open letter concerning do-it-yourself users of transcranial direct current stimulation. *Annals of Neurology*, 80(1), pp. 1-4.

En busca de la evidencia

Mejora de funciones cognitivas por EETC en personas sanas. Inteligencia fluida: Jaeggi, S. M. *et al.* (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), pp. 6829-6833. Memoria operativa: Fregni, F. *et al.* (2005). Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory. *Experimental Brain Research*, 166(1), pp. 23-30.

Mejora de funciones cognitivas por EETC en personas con distintas patologías: Boggio, P. S. *et al.* (2006). Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 249(1), pp. 31-38. Jo, J. M. *et al.* (2009). Enhancing the working memory of stroke patients using tDCS. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 88(5), pp. 404-409. Berryhill, M. E. y Jones, K. T. (2012). tDCS selectively improves working memory in older adults with more education. *Neuroscience Letters*, 521(2), pp. 148-151.

Dos revisiones críticas sobre los efectos de mejora cognitiva de la EETC: Buch, E. R. *et al.* (2017). Effects of tDCS on motor learning and memory formation: a consensus and critical position paper. *Clinical Neurophysiology*, 128(4), pp. 589-603. Horvath, J. C., Forte, J. D. y Carter, O. (2015).

Quantitative review finds no evidence of cognitive effects in healthy populations from single-session transcranial direct current stimulation (tDCS). *Brain Stimulation*, 8(3), pp. 535-550.

Excitabilidad cortical aumentada y fluidez verbal: Pisoni, A. *et al.* Cognitive enhancement induced by anodal tDCS drives circuit-specific cortical plasticity. *Cerebral Cortex*, 28(4), pp. 1132-1140.

5. Leer la mente: neuroprótesis y espionaje mental

Un cerebro conectado a una máquina

Una panorámica sobre las nuevas «neuroprótesis»: Andersen, R. A. *et al.* (2004). Cognitive neural prosthetics. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(11), pp. 486-493.

Dos ejemplos experimentales del uso de neuroprótesis como medio para controlar mentalmente dispositivos mecánicos: Velliste, M. *et al.* (2008). Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature*, 453(7198), p. 1098. LaFleur, K. *et al.* (2013). Quadcopter control in three-dimensional space using a noninvasive motor imagery-based brain-computer interface. *Journal of Neural Engineering*, 10(4), p. 046003.

Aplicaciones clínicas de la tecnología cerebral: Chaudhary, U. *et al.* (2017). Brain-computer interface-based communication in the completely locked-in state. *PLoS Biology*, 15(1), p. e1002593. Chaudhary, U. *et al.* (2016). Brain-computer interfaces for communication and rehabilitation. *Nature Reviews Neurology*, 12(9), p. 513.

¿Es posible la lectura mental de precisión? Células conceptuales y memoria personal

Un interesante artículo que hace futurismo sobre las posibilidades de la neurotecnología: Roelfsema, P. R. *et al.* (2018). Mind Reading and Writing: The Future of Neurotechnology. *Trends in Cognitive Sciences*, 22, pp. 598-610.

Sobre las células conceptuales: Quiroga, R. Q. *et al.* (2005). Invariant visual representation by single neurons in the human brain. *Nature*, 435(7045), p. 1102. Quiroga, R. Q. (2012). Concept cells: the building blocks of declarative memory functions. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(8), p. 587.

Fantasia científicamente fundada sobre posibles cerebros colectivos: Pais-Vieira, M. *et al.* (2015). Building an organic computing device with multiple interconnected brains. *Scientific Reports*, 5, p. 11869.

Cuestiones éticas planteadas por los desarrollos de la neurotecnología: Illes, J. (ed.) (2017). *Neuroethics: Anticipating the future*. N. York, Oxford University Press. Illes, J. y Bird, S. J. (2006). Neuroethics: a modern context for ethics in neuroscience. *Trends in Neurosciences*, 29(9), pp. 511-517.

6. Luces sobre el cerebro: la optogenética como interruptor neuronal

¿Qué es la optogenética?

Fundamentos de las técnicas optogenéticas: Bernstein, J. G. y Boyden, E. S. (2011). Optogenetic tools for analyzing the neural circuits of behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(12), pp. 592-600.

Recuerdos implantados

Estimulación optogenética que sustituye a un suceso real: Stuber, G. D. *et al.* (2011). Excitatory transmission from the amygdala to nucleus accumbens facilitates reward seeking. *Nature*, 475(7356), p. 377. Johansen, J. P. *et al.* (2010). Optical activation of lateral amygdala pyramidal cells instructs associative fear learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(28), pp. 12692-12697.

7. ¿Cómo se borra un recuerdo?

Borrado optogenético de recuerdos aversivos en animales: Cao, X. *et al.* (2008). Inducible and selective erasure of memories in the mouse brain via chemical-genetic manipulation. *Neuron*, 60(2), pp. 353-366. Han, J. H. *et al.* (2009). Selective erasure of a fear memory. *Science*, 323(5920), pp. 1492-1496.

Técnicas conductuales para eliminar los efectos de recuerdos aversivos: Agren, T. *et al.* (2012). Disruption of reconsolidation erases a fear memory trace in the human amygdala. *Science*, 337(6101), pp. 1550-1552. Clem, R. L. y Schiller, D. (2016). New learning and unlearning: strangers or accomplices in threat memory attenuation? *Trends in Neurosciences*, 39(5), pp. 340-351.

CAPÍTULO 10

1. Internet, la nueva ecología cognitiva.

Una excelente obra que aborda de forma crítica y bien informada muchos de los temas tratados en este capítulo: Matute, H. y Vadillo, M. A. (2012). *Psicología de las nuevas tecnologías: de la adicción a Internet a la convivencia con robots*. Madrid: Síntesis.

2. ¿Cambiará internet nuestro cerebro?

¿Demasiada información?

Maryanne Wolf sobre medios digitales y lectura: Wolf, M. y Barzillai, M. (2009). The Importance of Deep Reading. *Literacy*, 2, pp. 32-37. Wolf, M. (2008). *Reader, come home: the reading brain in a digital world*. N. York, Harper.

Hábitos de escucha musical en la red: Léveillé Gauvin, H. (2018). Drawing listener attention in popular music: Testing five musical features arising from the theory of attention economy. *Musicae Scientiae*, 22(3), pp. 291-304.

Teoría cognitiva de los niveles de procesamiento: Craik, F. I. y Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), pp. 671-684.

Carga cognitiva y lectura multimedia: Plass, J. L. *et al.* (2003). Cognitive load in reading a foreign language text with multimedia aids and the influence of verbal and spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 19(2), pp. 221-243.

Efectos de la multitarea: Carrier, L. M. *et al.* (2015). Causes, effects, and practicalities of everyday multitasking. *Developmental Review*, 35, pp. 64-78.

Delegando la memoria

Google y la memoria: Sparrow, B., Liu, J. y Wegner, D. M. (2011). Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips. *Science*, 120, p. 7745. Fisher, M., Goddu, M. K. y Keil, F. C. (2015). Searching for explanations: How the Internet inflates estimates of internal knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(3), p. 674.

Uso del GPS y orientación espacial: Fenech, E.P. *et al.* (2010). The effects of acoustic turn-by-turn navigation on wayfinding. *Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society*, 54, pp. 1926-1930.

Internet: ¿un nuevo factor de reciclaje neuronal?

Hipótesis del reciclado neuronal: Dehaene, S. Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The «neuronal recycling» hypothesis. En Dehaene, S. *et al.* (eds.) (2005). *From monkey brain to human brain*, Cambridge Mass., Bradford Books.

Actividad cerebral durante la búsqueda de información en Internet: Small, G. W. *et al.* (2009). Your brain on Google: patterns of cerebral activation during internet searching. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 17(2), pp. 116-126.

Alteraciones de la morfología cerebral asociadas a la multitarea: Loh, K. K. y Kanai, R. (2014). Higher media multi-tasking activity is associated with

smaller gray-matter density in the anterior cingulate cortex. *Plos One*, 9(9), p. e106698.

3. La sociedad virtual

¿Por qué usamos las redes sociales?

Dijck, J. van (2016). *La cultura de la conectividad. Una historia crítica de las redes sociales*. Madrid, Siglo XXI (edición original en inglés, 2013).

Nadkarni, A. y Hofmann, S. G. (2012). Why do people use Facebook? *Personality and Individual Differences*, 52(3), pp. 243-249.

Necesidad de pertenencia: Baumeister, R. F. y Leary, M. R. (1995). The need to belong: Desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation. *Psychological Bulletin*, 117, pp. 497-529.

Hábitos de interacción en entornos reales y digitales: Dunbar, R. I., Marriott, A. y Duncan, N. D. (1997). Human conversational behavior. *Human Nature*, 8(3), pp. 231-246. Naaman, M., Boase, J. y Lai, C. H. (2010, Feb.). Is it really about me? Message content in social awareness streams. *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 189-192. ACM.

4. El cerebro en la red social

¿Es Facebook demasiado grande para nuestro cerebro?

Hipótesis sobre la evolución del cerebro humano: Dunbar, R. y Shultz, S. (2017). Why are there so many explanations for primate brain evolution? *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 372, p. 20160244. Dunbar, R. (1998). The social brain hypothesis. *Evolutionary Anthropology*, 6, pp. 178-190.

Estudios sobre el tamaño y estructura de las redes sociales: Dunbar, R. (2016). Do online social media cut through the constraints that limit the size of

offline social networks? *Royal Society Open Science*, 3(1), pp. 1-9. Dunbar, R. *et al.* (2015). The structure of online social networks mirrors those in the offline world. *Social Networks*, 43, pp. 39-47.

Neurociencia de las redes sociales

Meshi, D., Tamir, D. I. y Heekeren, H. R. (2015). The emerging neuroscience of social media. *Trends in Cognitive Sciences*, 19(12), pp. 771-782.

Recompensas virtuales

Respuesta cerebral a las recompensas sociales: Izuma, K., Saito, D. N. y Sadato, N. (2008). Processing of social and monetary rewards in the human striatum. *Neuron*, 58(2), pp. 284-294. Zink, C. *et al.* (2008). Know your place: neural processing of social hierarchy in humans. *Neuron*, 58(2), pp. 273-283.

Actividad cerebral asociada a la actividad en las redes sociales: Sherman, L. *et al.* (2018). What the brain «Likes»: neural correlates of providing feedback on social media. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(7), pp. 699-707. Meshi, D., Morawetz, C. y Heekeren, H. R. (2013). Nucleus accumbens response to gains in reputation for the self relative to gains for others predicts social media use. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, p. 439.

Alteraciones de la morfología cerebral correlacionadas con el uso de las redes sociales: Bickart, K. *et al.* (2011). Amygdala volume and social network size in humans. *Nature Neuroscience*, 14(2), p. 163. Kanai, R. *et al.* (2011). Online social network size is reflected in human brain structure. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1732), pp. 1327-1334. Turel, O. *et al.* (2018). Social networking sites use and the morphology of a social-semantic brain network. *Social Neuroscience*, 13(5), pp. 628-636.

5. ¿Nuevos medios, nuevas adicciones?

Karaiskos, D. *et al.* (2010). Social network addiction: a new clinical disorder? *European Psychiatry*, 25, pp. 855-855.

Uso de internet y cerebro adolescente: Mills, K. L. (2014). Effects of Internet use on the adolescent brain: despite popular claims, experimental evidence remains scarce. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8), pp. 385-387.

Revisión de estudios sobre la adicción a internet: J Kuss, D. *et al.* (2014). Internet addiction: a systematic review of epidemiological research for the last decade. *Current Pharmaceutical Design*, 20(25), pp. 4026-4052.

Alteraciones cerebrales asociadas a las adicciones digitales: Brand, M., Young, K. S. y Laier, C. (2014). Prefrontal control and Internet addiction: a theoretical model and review of neuropsychological and neuroimaging findings. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, p. 375.

Edición en formato digital: 2019

© Luis Aguado Aguilar, 2019
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2019
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15
28027 Madrid
alianzaeditorial@anaya.es

ISBN ebook: 978-84-9181-558-7

Está prohibida la reproducción total o parcial de este libro electrónico, su transmisión, su descarga, su descompilación, su tratamiento informático, su almacenamiento o introducción en cualquier sistema de repositorio y recuperación, en cualquier forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, conocido o por inventar, sin el permiso expreso escrito de los titulares del Copyright.

Conversión a formato digital: REGA

www.alianzaeditorial.es