

www.elboomeran.com

Jean-Didier Vincent
Pierre-Marie Lledo

Un cerebro a medida

Traducción de Cristina Zelich



EDITORIAL ANAGRAMA
BARCELONA

Título de la edición original:

Le cerveau sur mesure

© Odile Jacob

París, 2012

Diseño de la colección: Julio Vivas y Estudio A

Ilustración: «El hombre y sus defectos», postal (c. 1900), © Selva / Leemage

Primera edición: marzo 2013

© De la traducción, Cristina Zelich, 2013

© EDITORIAL ANAGRAMA, S. A., 2013

Pedró de la Creu, 58

08034 Barcelona

ISBN: 978-84-339-6353-6

Depósito Legal: B. 1258-2013

Printed in Spain

Reinbook Impres, sl, av. Barcelona, 260 - Polígon El Pla
08750 Molins de Rei

A la memoria de mi padre, que inspiró el título de este libro.

A mi queridísima madre por su amor seguro. Te bastas tú sola para encarnar toda la injusticia de una enfermedad neurodegenerativa que, por desgracia, se ha vuelto muy frecuente.

P.-M. L.

A mis hijos y nietos, cuyo cerebro es portador de las esperanzas de mi genoma.

J.-D. V.

INTRODUCCIÓN

El ser humano y su cerebro, ¡menudo asunto!

Anónimo

Habría que decir ¡menuda maravilla! El cerebro de un ser humano sólo le pertenece a él, sin embargo no es consciente de su presencia, del mismo modo que tampoco nota nada cuando lleva un traje cortado perfectamente a su medida. A veces la cabeza pesa y duele, pero, paradójicamente, el cerebro, órgano de todas las sensaciones, es en sí mismo insensible: una masa blanda que se ofrece sin dolor al bisturí del neurocirujano. Cortado según un patrón que es el mismo para toda la especie, expresa el ser propio de cada individuo, dicho con otras palabras, su alma, con toda la prudencia que corresponde al uso de una palabra cargada de metafísica.

Durante mucho tiempo, esa forma de 1.500 gramos de materia blanda y grisácea se ha resistido al análisis de los observadores. El obispo Niels Stensen, también llamado Nicolás Steno¹ (1638-1686), canonizado por la Iglesia católica, fue un gran sabio, anatomista, geólogo y también teólogo, antes de dedicarse a la conversión de los luteranos. Denunciaba «la pretensión de esas personas [Descartes y compañía], presurosas por afirmar [y] ofrecer la historia del cerebro y la disposición de sus partes con la misma seguridad que les otorgaría haber presenciado la composición de esta máquina maravillosa y haber penetrado en todos los diseños de su gran arquitecto».² Actual-

mente, después de tres siglos de anatomía y sesenta años de neurociencias modernas,³ se han desvelado muchas cosas sobre la forma del cerebro y las funciones que dependen de él. Son producto de una historia y, gracias a Darwin y a su teoría de la evolución de las especies, ya no es necesario recurrir a los diseños de un gran arquitecto. Sin embargo, los aficionados al misterio pueden estar tranquilos, a pesar de los esfuerzos constantes de los investigadores, todavía no ha llegado la hora de comprender dónde se esconden todos los secretos del alma humana; con grave perjuicio para los constructores de máquinas destinadas a leer los misterios del pensamiento, que podrían acabar siendo máquinas para descerebrar.⁴

La historia del cerebro humano se confunde con la odisea de nuestra especie, aparecida hace aproximadamente doscientos mil años y portadora de un cerebro moderno que, desde entonces, no ha evolucionado. ¿Quiénes eran esos seres humanos que aparecieron a principios de la era cuaternaria? Tanto si son machos como hembras, tienen la piel desnuda y mucho cabello. «Él» ha aprendido rápidamente a proteger su pene de las miradas de los demás y de los daños que le pueden acarrear los caminos espinosos. «Ella» muestra sin tapujos sus senos pendulares y sus nalgas carnosas, blasones de su feminidad. No sienten vergüenza ni pudor; la ropa llegará más tarde junto con la moral y la ley. Conocen todas las emociones, pero ante todo están dotados de compasión, carácter fruto de la selección natural, fundamento sobre el cual se ha desarrollado la especie. Estos seres, de caninos cortos y desprovistos de garras, jamás hubieran podido sobrevivir sin ayudarse entre sí y sin la capacidad para penetrar en el alma del prójimo y leer en ella intenciones o sentimientos personales. Sus pasos siguen el ritmo de sus pensamientos, que a su vez circulan libremente de un cerebro a otro. Sus ojos iluminan el día y ahuyentan de él la soledad. Por la noche se quedan dormidos bajo el peso de las estrellas, vagamente alejadas gracias a las llamas de la hoguera.

Lo que sabe cualquier jardinero también es cierto para el hombre: es un producto de la tierra. Por lo tanto, es natural que su destino esté ligado al del suelo que le permitió nacer. Han pasado seis o siete millones de años, África oriental padeció una sequía que supuso la desaparición del bosque húmedo, sustituido por una sabana arbórea. No apta para los desplazamientos de rama en rama, favoreció la aparición de la bipedestación entre los grandes monos y su locomoción terrestre.⁵ Fueron la vanguardia de la humanidad con un cerebro que pesaba menos de 400 gramos. La famosa Lucy es el florón de estos australopitecos que poblaban la Tierra a finales de la era terciaria. Les siguieron los *Homo*. Mientras que el género *Homo habilis* se limitó a África, otro *Homo*, el *erectus*, colonizó Europa hace millones de años.

Al principio de esta prehistoria, sólo existía un puñado de individuos pertenecientes a un extraño género. Se mantenían de pie, con la cabeza recta sobre los hombros. Avanzaban sin reparar en obstáculos; sus ojos llenos de asombro observaban el mundo.⁶ Estaban distribuidos⁷ en un territorio que corresponde al sur de lo que hoy es Etiopía, en torno al valle bajo del Omo, cerca del lago Turkana.⁸ Estos *Homo habilis* dominaban técnicas muy eficaces para la talla de piedras, cantos rodados y sílex con los que fabricaban objetos cortantes e instrumentos. Dos millones de años antes de nuestra era, estos peregrinos del mundo llevaron a cabo la lenta conquista de la superficie terrestre. Aquel artesano hábil todavía no era un intelectual consumado: para ello su cerebro tendrá que duplicar su tamaño.⁹ La prioridad para él en ese momento era saber utilizar su cabeza. Para hacer frente a los cambios climáticos y poder alimentarse más allá de sus tierras natales, el género *Homo* eligió la disuasión intelectual desarrollando su encéfalo y adoptó un régimen de amplio espectro alimentario, incluida la carne. El hecho omnívoro y su oportunismo se impusieron en plano de igualdad con el hecho intelectual. Además, ambos están relacionados. La

adaptación al hecho carnívoro provocó que los caninos del *Homo* se acortaran, siendo sustituidos progresivamente por instrumentos y una tolerancia acrecentada hacia aquellos congéneres que preferían ocupar su tiempo perfeccionando sus modos de caza y a compartir los alimentos en lugar de morderse los unos a los otros.

Con un cerebro con peso medio de 900 gramos, el *Homo erectus* inventó la sociedad, es decir el reparto del trabajo, la domesticación del fuego, la cocción de los alimentos y las tecnologías de la arcilla. Todavía la Tierra y su clima seguían mandando sobre las modificaciones de la especie humana. Nueve eras glaciales tienen lugar entre -900.000 y -15.000 años; señales todavía visibles actualmente de las oscilaciones climáticas lentas que perturbaron la superficie del globo.¹⁰

Al llegar a Europa, hace más de un millón de años, los primeros seres humanos, incluido el famoso cromañón, se vieron sorprendidos por las glaciaciones. Los periodos glaciares habían modificado profundamente los paisajes, el contorno de las tierras y el nivel de los mares; un puente continental de más de mil kilómetros unía Alaska y Siberia.

La arqueología paleolítica ha desvelado alguno de estos lejanos misterios que jalonaban esos periodos tan fecundos en acontecimientos capitales que han marcado el destino del hombre moderno. Los paleoantropólogos nos dicen que tenemos cuatro ancestros comunes pertenecientes a la rama de los homínidos.¹¹ Esta clasificación ha podido llevarse a cabo gracias a la aparición de la genética antropológica. De este modo se distingue fácilmente al neandertal del *Homo sapiens* por sus respectivos genes, pero ¿realmente representan dos especies diferentes?¹² Ahí queda planteada la pregunta ya que algunas poblaciones de *sapiens* poseen hasta un 2 % de genes neandertales, entre otros el pueblo francés. Esta contribución neandertal al genoma del hombre moderno, muy discreta, pero incontestable, muestra que fue posible la fecundidad entre neandertal y

Homo sapiens.¹³ ¿Acaso nos convertimos en *Homo neandertaliensis*?

El *Homo floresiensis* fue descubierto en septiembre de 2003 en una caverna de la isla de Flores, en Java (Indonesia). Vino a complicar la saga. Los restos de este *Homo* tienen una antigüedad de entre 12.000 y 95.000 años; estaba dotado de un cerebro pequeño (380 cm³) y su capacidad craneal estaba más próxima a la de un chimpancé que a la del *sapiens*. Sin embargo este esbozo de *Homo* era ya capaz de fabricar utensilios tan complejos como los de su primo *sapiens*. Así pues, el misterio está por desentrañarse.

Finalmente, los restos de una niña que vivió hace más de 50.000 años fueron descubiertos en el yacimiento arqueológico de Denisova, al sur de Siberia occidental.¹⁴ ¿Nueva especie de homínido o subespecie de neandertal? Las especulaciones sobre la existencia de estos denisovanos se han disparado. Hay quien sugiere que ésta es la prueba de la existencia de un neandertal asiático diferenciado del género *Homo*. Otros, por el contrario, prefieren ver en ellos la prueba de una nueva especie que existió antes que los neandertales, una especie de anteneandertal. De nuevo los análisis genéticos aportan su dosis de sorpresas. Al parecer los denisovanos se cruzaron con los *Homo sapiens* ya que los análisis genéticos realizados a los *sapiens* originarios de Melanesia y Nueva Guinea muestran la presencia de genes denisovanos. Hay que constatar que la evolución del hombre moderno no se ha hecho a partir de un único esbozo, sino más bien tras varios intentos a ciegas, de los que sólo uno dio paso al *Homo sapiens*, sin que ningún plan anterior hubiera anticipado el resultado.

De esta evolución compleja de la especie humana, nos limitaremos esquemáticamente a dos especies (¿o variedades?): *Homo sapiens*, el ser humano actual, y *Homo neanderthalensis*, el hombre primitivo. De hecho, estos últimos tienen un *look* especial: extremidades inferiores cortas y, en cambio, una cabe-

za voluminosa con la parte posterior estirada; ojos saltones y pómulos desdibujados; la frente, relativamente baja, termina con un abultamiento óseo encima de las órbitas oculares; su complexión imponente, ancha y musculosa es prueba de su fuerza. Durante mucho tiempo, sus rasgos han hecho que se le acusara de bestialidad, sin embargo, sus tumbas y las reliquias que contienen dejan entrever por el contrario que estaban dotados de una espiritualidad viva. Su cerebro de 1.600 gramos, por lo tanto de tamaño superior al del *sapiens*, sugiere capacidades intelectuales desarrolladas, de las que dan prueba sus tecnologías del utillaje y la presencia de objetos manufacturados, joyas, recipientes, etc. Los neandertales desaparecieron sin que se sepa realmente los motivos de esta extinción. Para el cerebro humano, los tiempos modernos han empezado y el hombre tuvo que apañarse con este órgano localizado en su cráneo que le ha legado la evolución: el nuestro. Así pues, hace 35.000 años, el *Homo sapiens* se hizo definitivamente con el mundo haciendo que desaparecieran todos los demás grupos de homínidos, incluido el neandertal.

Si bien el cerebro de una persona adulta posee una medida media universal, que varía según los individuos y el sexo, señalaremos, a pesar de la reiteración de polémicas de orden ideológico, que no existe correlación significativa alguna entre la medida, el origen étnico y las facultades intelectuales de los individuos. En cambio, esta maravilla de complejidad –varios miles de millones de células– no es en absoluto inmutable ni fija, como los compuestos de un ordenador. Si hablamos de ordenador, éste está hecho de carne viva, materia cambiante construida para el cambio que sólo existe por el cambio. Esto significa que encarna un devenir. Confiere la facultad de realizar mañana operaciones que somos incapaces de llevar a cabo hoy o de hacer cosas hoy que éramos incapaces de efectuar ayer mismo. Todas nuestras aptitudes particulares, manuales e intelectuales, que hacen de cada uno de nosotros un especialista, un experto único,

se forman en gran parte durante las fases primeras del desarrollo cerebral del niño y del adolescente.

Recordemos que el crecimiento del cerebro del ser humano moderno presenta dos características importantes que no se dan en los demás mamíferos, en particular en los demás primates. La primera singularidad tiene que ver con el crecimiento del cerebro, que requiere varias décadas para completarse. Este crecimiento lento del cerebro de la cría humana ofrece la posibilidad de un periodo educativo largo en el que la instrucción ocupa un lugar central. La segunda característica está ilustrada por el retraso del cerebro del recién nacido para desarrollarse (al nacer, apenas alcanza el 25 % de su tamaño adulto).¹⁵ Así pues, el ser humano nace en el seno de una paradoja doble,¹⁶ con un cerebro muy inmaduro en el momento del nacimiento que no tiene prisa por recuperar el retraso. Esta propiedad se denomina *altricialidad secundaria*.¹⁷ Durante esta larga etapa de crecimiento, el niño recibe señales del mundo exterior, interactúa con su grupo social y puede adquirir una posibilidad funcional nueva: el lenguaje articulado. Los primates no humanos se desarrollan siguiendo modalidades muy distintas. En los chimpancés, por ejemplo, el volumen de su cerebro al nacer equivale ya a más del 50 % del volumen del cerebro del adulto y su crecimiento se termina muy rápidamente hacia los dos años de vida.

La huella que el entorno deja sobre los circuitos nerviosos permite que cada uno de nosotros adquiera sus rasgos únicos. Esto es la herencia evolutiva, es decir, la posibilidad de que el sistema nervioso vaya tomando forma gracias al doble juego de la experiencia y del entorno. Ésta es la tesis central de nuestro trabajo que será desarrollada con detalle y documentada en el capítulo 3.

La historia de las especies parece ser capital para comprender cómo funciona nuestro cerebro. Tenemos derecho a preguntarnos cuándo apareció con la forma que hoy conocemos.

El sistema nervioso es parte de la aparición del reino animal. Veremos en el capítulo 1 que los primeros vertebrados, impelidos por el hambre, perfeccionaron la acción predatoria gracias a la adopción de una «cabeza nueva». La cabeza emergió hacia la parte anterior del cuerpo para permitirles moverse eficazmente y agarrar las presas. En virtud de este principio, fue la locomoción, y no la sensorialidad, la lógica constitutiva de la emergencia del sistema nervioso que se convirtió en «central» en los vertebrados. Por lo tanto fue la necesidad de moverse para alimentarse la que impelió el nacimiento de la cabeza y su cerebro. El bucle percepción-acción que une eficazmente los captadores sensoriales a los músculos es la función vital sobre la cual la evolución ha ejercido su presión para que apareciera nuestro cerebro.

En resumen, para construir un cerebro humano, la evolución de las especies ha necesitado casi mil quinientos millones de años. Durante tres cuartas partes de este periodo, la elaboración de un esbozo del sistema nervioso permitió a los animales adquirir un grado mayor de autonomía sensorial y motriz. Hasta el jurásico,¹⁸ los animales sólo podían moverse para cazar una presa o para luchar contra un predador. Tuvo que pasar mucho tiempo para que aparecieran funciones cognitivas como el lenguaje o el pensamiento simbólico para sellar el inmenso salto cualitativo que permitió la emergencia del cerebro del ser humano moderno con sus capacidades únicas de abstracción. Sin embargo, estas nuevas facultades mentales requieren un sistema nervioso maleable, flexible, que ya no esté precableado. Por supuesto, las adquisiciones de nuestras aptitudes manuales e intelectuales dependen de una maquinaria cerebral perfectamente ordenada y jerarquizada. Sin embargo, es necesario que, al mismo tiempo, esta organización pueda, en parte, ser adaptada y reconfigurada en cualquier momento y a cualquier edad.

Esta plasticidad¹⁹ cerebral, presente de forma clara e incontestable en la infancia, no desaparece en la edad adulta. Recor-

demos que existen dos grandes periodos en la historia de la adaptabilidad del cerebro. El primero, denominado periodo crítico, se corresponde con la existencia de una ventana temporal durante la cual el cableado nervioso se constituye para que el cerebro adquiera las piezas indispensables para su funcionamiento y después para la adquisición de su forma final. En ese momento, la experiencia sensorial es crucial. Al demostrar que la corteza visual se desarrolla muy pronto y en íntima relación con la experiencia visual del recién nacido, los dos premios Nobel, David Hubel y Torsten Wiesen, aportaron las primeras pruebas neurobiológicas de la existencia de un periodo crítico,²⁰ si bien etólogos como Konrad Lorenz y Nikolaas Tinbergen ya lo habían dejado entender en la década de 1930.

Durante este periodo concreto del desarrollo cerebral, cuya duración varía según la función de la que se trate (la visión, la marcha, el lenguaje, las matemáticas, la audición, etc.), el cerebro es la sede de cambios intensos que orientan la edificación de esta inmensa construcción. Durante un periodo precoz, el cerebro es pasivo; sus circuitos nerviosos esperan ser «alimentados» por estímulos sensoriales o motores que su entorno le proporcionará en un contexto afectivo muy particular. En resumen, este atraso en la construcción que se da en el embrión humano permite al cerebro del niño seguir siendo muy vulnerable a las condiciones del mundo exterior en el que crece. La película de François Truffaut *El pequeño salvaje*, inspirada en la historia de Victor de l'Aveyron, da cuenta de los daños causados cuando esta experiencia tan esperada no se cumple. Sacada del libro *Memoria e informe sobre Victor de l'Aveyron*, de Jean Itard, esta película narra la captura de un niño sordomudo que caminaba a cuatro patas por los bosques de Aveyron. Capturado por la gente del pueblo, el joven «salvaje» fue llevado al Instituto de Sordomudos de París donde se convirtió en objeto de la curiosidad de numerosos visitantes. El gran neurólogo de aquella época, el profesor Pinel, al considerar a Victor un idiota

irrecuperable, intentó incluso que lo encerraran en el asilo de enfermos mentales de Bicêtre. Fue Itard, médico del Instituto de Sordomudos, quien lo salvó del aislamiento. Convenció a Pinel de que le concedieran la tutela de aquel niño ya que pensaba que podía recibir una educación. Por desgracia para él, Victor jamás consiguió hablar, aunque desarrolló facultades mentales dignas de mención. Esta historia real ilustra hasta qué punto el cerebro humano, muy poco acabado en el momento del nacimiento, sigue siendo vulnerable a los estímulos del entorno. En otras palabras, el cerebro neoténico²¹ del niño es muy receptivo a la inscripción del mundo en sus propios circuitos y esto es así incluso décadas después del nacimiento, siempre y cuando se sepa cómo estimularlos.

Al completar su maduración, el cerebro del joven adulto se vuelve cada vez más insensible a las lecciones fruto de la experiencia. El aprendizaje de cosas nuevas no es imposible, por supuesto, pero resulta más difícil. Sin embargo, ciertas conexiones seguirán siendo suficientemente maleables para que las reglas de aprendizaje dejen en ellas su huella durante toda la vida. Este segundo periodo, denominado neuroplasticidad²² adulta, se caracteriza por el perfeccionamiento de la maquinaria cerebral cuando ésta ya ha adquirido un amplio repertorio de facultades sensoriales y motrices. El cerebro posjuvenil no es una pizarra virgen sobre la cual pueden imprimirse los aprendizajes más variados. Este periodo se inicia al final de la infancia y termina con el fallecimiento del individuo. Durante esta segunda fase, el cerebro ya no es pasivo. Utiliza estrategias para descifrar el significado de las entradas sensoriales y motrices que estimulan sus propios circuitos. En resumen, intenta dar un sentido a la experiencia vivida. Los procesos de atención, es decir la apertura de todos nuestros sentidos a la realidad externa o interna, son consecuencia de los procesos de aprendizaje. El cerebro realiza esta operación gracias a su facultad de poner en marcha la atención que le permitirá evaluar si el fin perse-

guido con un determinado comportamiento se ha conseguido, o si el individuo se ve recompensado por las consecuencias de su comportamiento, comportamiento que había sido planificado. Por lo tanto, es en este contexto de atención y motivación en el que los circuitos nerviosos del cerebro adulto pueden reconfigurarse para maximizar las probabilidades de que una situación benéfica para el individuo pueda reproducirse repetidamente.

Sin duda alguna, la rica diversidad de personalidades, aptitudes y comportamientos humanos descansa en gran parte en la singularidad del cableado cerebral de cada individuo. Las diferencias neurobiológicas que existen entre los seres humanos provienen de los caracteres heredados, pero también del aprendizaje y de la influencia del medio. Veremos que las primeras etapas de la construcción de los circuitos cerebrales están en gran medida bajo la dependencia de los procesos celulares y moleculares programados genéticamente. En cambio, cuando se han dispuesto las grandes líneas del cableado cerebral, la actividad nerviosa contribuye gradualmente a que aumente su precisión, añadiendo o eliminando de forma selectiva algunas conexiones del cerebro en desarrollo. Las interacciones entre el mundo exterior y las actividades nerviosas ofrecen un mecanismo por el cual el entorno puede influir en la forma y funciones del cerebro para producir un individuo único, libre, capaz de respuestas adaptadas, pero también imprevisibles.

El estudio de la evolución del cerebro del ser humano moderno nos muestra también que los seres vivos han evolucionado y siguen evolucionando en el sentido de un crecimiento y una diversificación de los intercambios de información con su entorno físico o biológico. El organismo se convierte en una representación cada vez más completa y precisa de su entorno. Esta adaptación vital del sujeto a su medio atañe en primer lugar al sistema nervioso, ya que es el único que permite integrar y gestionar las informaciones que llegan del mundo exterior.

En otras palabras, comprender la génesis de un individuo, considerada como el resultado de procesos cognitivos (percepción, lenguaje, memoria, conciencia, etc.), supone intentar aprehender cómo su historia se inscribe en su sistema nervioso para producir un sujeto único. Volveremos sobre el tema de cómo la experiencia da forma a los circuitos nerviosos y, a su vez, cómo estos cambios modifican las facultades mentales. En el capítulo 2, describiremos de qué manera se esbozan los circuitos neuronales en el embrión a partir de migraciones celulares sabiamente coreografiadas. La capacidad que tienen estos procesos de desarrollo para organizarse (es decir, autoorganizarse) bajo la doble influencia de los genes y del entorno, es un hecho rarísimo en biología.

Desde la década de 1980, el desarrollo de instrumentos tomados en préstamo de la genética molecular ha ofrecido gran cantidad de pruebas relativas al poder determinante de los genes sobre el desarrollo y el funcionamiento normal del cerebro. Actualmente es posible identificar, activar o eliminar hasta la saciedad la acción de un gen para comprender su influencia sobre el funcionamiento cerebral. Sin embargo, si bien resulta innegable que los genes siguen siendo determinantes en la construcción y el funcionamiento del cerebro, no es menos cierto que la actividad y la experiencia del sujeto, y, por lo tanto, su aprendizaje, tienen el poder de reconfigurar la conectividad particular del cerebro para modificar profundamente ciertos comportamientos.

Según este punto de vista, el cerebro es, por lo tanto, el producto de una doble acción ejercida por la actividad de nuestros genes y las modificaciones permanentes que la historia del sujeto le impone. Los primeros son los que determinan el patrón general y velan su precableado. La neuroplasticidad adulta, al permitir ajustar la organización precisa del cerebro según las experiencias vividas, es la garantía de nuestra capacidad de adaptación así como de nuestra individuación y libertad.

Un principio fundamental en el ámbito de las neurociencias, y sobre el que volveremos a menudo, se basa en el enunciado dictado antaño por Descartes (al hablar de «tubos» en lugar de neuronas) según el cual el «aprendizaje lento» se fundamentaría en la selección y el refuerzo de las conexiones cerebrales efectuadas primero al azar —la *tabula rasa*— entre neuronas. Este concepto fue retomado a principios del siglo XX por algunos psicólogos como Henri Piéron, que, en 1923, sugirió que «la memoria no es más que el refuerzo, la facilitación del paso de la transmisión nerviosa por ciertas vías». Aunque este principio no permita dar cuenta del funcionamiento de la memoria, en cambio sí que arroja luz sobre los procesos responsables del aprendizaje. Unos años después, Donald Hebb vio la posibilidad de comprender algunos de nuestros comportamientos a partir de ese mismo principio.²³ Su postulado, siempre de actualidad entre los neurobiólogos, se apoya en dos leyes fundamentales: i) todo percepto se representa físicamente en el cerebro por la entrada en actividad de un conjunto de neuronas que denominamos *asamblea celular*; ii) dos neuronas que se activan simultáneamente acabarán «asociándose» de tal modo que la entrada en actividad de una de ellas facilitará obligatoriamente la de la otra (es el principio de Hebb). Según este postulado, la memoria se formaría en el seno de las conjunciones funcionales entre las neuronas, es decir a nivel del elemento lógico primario constituido por la sinapsis.²⁴ Actualmente, los modelos teóricos relativos a la actividad cerebral retoman, formalizándolas, las propuestas de estos tres psicólogos: William James (hermano del escritor), Henri Piéron y Donald Hebb. Los científicos contemporáneos piensan que la evolución de las conexiones nerviosas, con la edad y la experiencia, se someten a las mismas reglas que contribuyen a la diversidad de los seres vivos. Las dos fuerzas principales de la evolución, por un lado, la variación y, por el otro, la selección, estarían también presentes en el desarrollo y funcionamiento del sistema nervioso.

Este concepto fundamental en las neurociencias, especie de darwinismo neuronal, tal como lo califica Gerald Edelman, postula que existe al inicio, en el cerebro joven, una gran cantidad de conexiones, ya que una misma neurona tiene contactos sinápticos con miles de otras neuronas. Después, con la edad y la experiencia del individuo, sólo las conexiones funcionales se estabilizan mientras que otras degeneran.²⁵ En resumen, de entre todos los posibles caminos neuronales entre dos circuitos nerviosos, se selecciona el más eficaz y después se consolida en vista de una reutilización posterior. Este proceso, que el neurobiólogo Jean-Pierre Changeux califica de epigénesis por estabilización selectiva de neuronas y sinapsis, conoce su apogeo durante la primera infancia. A partir de la decimoctava semana del embarazo, la mayoría de las decenas de miles de millones de neuronas, de las que un porcentaje importante tendrá que morir, se constituye y encuentra su destino final. Bajo la influencia de las experiencias vividas por el feto en el útero y durante sus primeros años de vida, se eliminan numerosos contactos entre células nerviosas, redundantes o inútiles, mientras que otros persisten.

Al margen de estas modificaciones sinápticas, existe también una reorganización morfológica de las redes neuronales basada en la producción de nuevas neuronas en determinadas regiones del cerebro adulto. Estas modificaciones morfológicas y funcionales ilustran la diversidad de los mecanismos que hacen que el cerebro sea apto para adquirir nuevas informaciones a cualquier edad.

La época del cerebro rígido, cuando los manuales de neurociencias mencionaban tímidamente las modificaciones del cerebro adulto, ha quedado definitivamente atrás. A finales de la década de 1970 y a principios de la de 1980, se dieron las primeras pruebas experimentales de la plasticidad sensorial y motriz del cerebro adulto. En ese momento, varios grupos exploraron las consecuencias de una interrupción de las entradas

sensoriales en el funcionamiento cerebral. Michael Merzenich y Jon Kaas han utilizado las variaciones que se dan en los mapas corticales como prueba de una facultad de adaptación del sistema nervioso. En caso de privación sensorial en un determinado territorio, estos investigadores demuestran que la región cortical afectada, privada de sus entradas sensoriales, busca entradas habitualmente presentes en las estructuras adyacentes. Desde entonces, las neurociencias modernas han convertido el cerebro plástico en uno de los paradigmas centrales del cerebro humano. El cerebro se comprende en cuanto que objeto capaz de modificar la organización de sus propios circuitos nerviosos en función de las experiencias vividas por el sujeto. Esta aptitud, que puede resultar muy sorprendente, se verá con detalle en el capítulo 3. Entre otras cosas, permite que el cerebro adulto pueda suplir sus insuficiencias dentro de ciertos límites, siempre y cuando se encuentren los medios para estimular este potencial latente. Por lo tanto, es precisamente la noción de periodo crítico la que se ve afectada actualmente debido al descubrimiento de la plasticidad cerebral en el adulto. Si bien nuestros circuitos nerviosos se abren de forma progresiva hacia el mundo exterior en el momento del nacimiento o justo un poco antes, nunca perderán por completo esta facultad, por más que le pese a Jean Piaget.²⁶

Aunque en la actualidad no podamos explicar realmente la plasticidad neuronal del cerebro adulto, la podemos constatar y medir. De forma progresiva se adueña del campo de los teóricos y de la clínica humana. Vemos surgir una farmacopea nueva dirigida al tratamiento de determinada enfermedad neurológica o determinado trastorno psiquiátrico, apuntando precisamente a los mecanismos subyacentes de la plasticidad del cerebro adulto. Un antidepresivo como la fluoxetina (Prozac y sus genéricos) administrado precozmente tras un accidente vascular cerebral (AVC) puede mejorar la recuperación funcional.²⁷ Otro ejemplo lo ilustra el descubrimiento reciente llevado a cabo por los

investigadores del MIT, que muestra que la ingesta de un suplemento de magnesio aumenta las capacidades del cerebro adulto para crear nuevas conexiones y así mejorar el rendimiento durante las tareas de aprendizaje y memoria.²⁸ Información que sin duda seducirá a todos los aficionados al chocolate.²⁹

Esta facultad de los circuitos de adaptarse hace que el cerebro sea «informable»,³⁰ ya que reacciona sin cesar a las informaciones sensoriales y motrices recibidas. También hace que sea «deformable», ya que esas mismas sensaciones contribuyen a la reconfiguración de sus propios circuitos, establecidos con anterioridad. Uno de los ejemplos extremos de plasticidad cerebral tiene que ver con la producción continua de nuevas neuronas en un cerebro sano, allí donde haya sufrido daños irremediables ocasionados por un traumatismo. Numerosas pruebas experimentales intentan actualmente controlar mejor esta plasticidad extrema para permitir una recuperación funcional, total o parcial, de las personas afectadas por trastornos neurológicos. En el capítulo 3, repasaremos el estado actual de los conocimientos en este ámbito en el que las certezas de hoy son las preguntas del día siguiente.

¿En qué punto están actualmente las promesas y otras noticias de gran repercusión lanzadas por los investigadores en busca de subvenciones? ¿Podemos realmente plantearnos recuperar el habla después de un AVC? ¿Qué esperanza aportan las células madre en materia de estrategias terapéuticas innovadoras? Finalmente, ¿qué futuro nos reservan los avances de la medicina regeneradora? El conjunto de estas cuestiones será abordado en el capítulo 4, evitando suscitar esperanzas excesivas ya que el camino por recorrer es todavía largo e incierto.

Para comprender la naturaleza de los procesos que intervienen en la reconfiguración de las redes neuronales del cerebro adulto, es necesario en primer lugar precisar en qué forma las distintas piezas del rompecabezas se articulan entre sí. En el capítulo 2 hablaremos en detalle de las grandes líneas de la arqui-

tectura cerebral. Según una visión evolutiva, el funcionamiento del cerebro humano dependería de dos módulos, un conjunto subcortical que permite un tratamiento rápido, pero inconsciente, mientras que el segundo módulo, el córtex, trata de forma consciente, pero más lenta, las informaciones del medio interno o que llegan del entorno. Esta visión binaria enunciada antaño por el neurólogo inglés John Hughlings Jackson (1835-1911) se basa en la integración jerarquizada de los niveles de organización de los centros nerviosos. Recordemos que los trabajos de Jackson intentaban dar bases fisiopatológicas a la comprensión de los trastornos neurológicos y psiquiátricos. Según los criterios anatómico-funcionales de la época, Jackson pensaba que existía una jerarquía de las funciones psíquicas; los estados patológicos se traducían en un movimiento de pérdida de las funciones existentes. Esta desestructuración liberaba instancias activas subyacentes. Esta concepción formulada en el contexto de los trastornos neuropsiquiátricos traduce una visión evolutiva.

Para comprender el núcleo de esta teoría, repasaremos el aspecto filogenético de las estructuras cerebrales del hombre en el capítulo 2. Veremos que el cerebro protorreptiliano, la región más antigua situada en el corazón del cerebro, corresponde al cuerpo estriado, los ganglios basales. Este conjunto de circuitos nerviosos, que compartimos con la serpiente y la tortuga, participa en las funciones autónomas y, por ello, controla todas las funciones vitales importantes para la supervivencia del sujeto. Gracias a dichos circuitos nerviosos, se puede dar de forma inconsciente la alternancia entre el estado de vigilia y el de sueño o la adaptación del ritmo respiratorio al subir una escalera sin que seamos conscientes de ello. Éste es el territorio más profundo de nuestro cerebro. Lo cubre una segunda región denominada paleomamífera que comprende el sistema límbico que todos los mamíferos comparten entre sí. Esta región común a todos los mamíferos primitivos, especie de torre de control de

nuestros afectos que organiza tanto nuestros comportamientos fundamentales como la expresión de nuestras emociones o de nuestras motivaciones, garantiza la gestión de los dos grandes pilares del templo del afecto: el placer y el sufrimiento. El sistema límbico está también a su vez formado por la reunión de tres entidades. La primera es la amígdala. Si este centro nervioso se descontrola, el ángel más afable se convertirá en un verdadero *serial killer*. La segunda subdivisión está representada por los núcleos del área septal (entre ellos el núcleo accumbens). Este territorio es responsable de la impulsividad y gestiona todas nuestras motivaciones. Una vez activadas, estas redes límbicas desencadenan la atracción, el apetito o la satisfacción. La tercera y última subdivisión del cerebro paleomamífero corresponde al córtex límbico del giro cingular (es el «gran lóbulo límbico» de Broca) y a sus conexiones con el tálamo. Esta estructura organiza muchos comportamientos sociales como, por ejemplo, aquellos que se expresan durante los cuidados parentales.

El cerebro límbico forma el rinencéfalo (del griego *rinós* que significa «nariz» y «encéfalo» que significa «cerebro») de los mamíferos macrosmáticos para los cuales el olfato es una función determinante para su supervivencia. En resumen, podemos afirmar que la aparición del cerebro paleomamífero permitió a los animales adquirir reacciones afectivas útiles tanto para la protección del individuo como para la supervivencia de la especie. Es el centro de las manifestaciones emocionales relacionadas con la motivación alimentaria (atracción y apetencia), de los instintos rápidos de conservación en caso de peligro que permiten decidir en milésimas de segundo si huir o luchar tras percibir un peligro, y, finalmente, de los instintos más fundamentales de nuestra sexualidad. Sin embargo, la variedad de funciones que dependen del sistema límbico no estaría completa si no citáramos también su participación en los procesos mnésicos; una función que aporta a los animales un grado de libertad suplementaria gracias a la experiencia adquirida ante-

riormente y recordada. La emergencia de esta memoria poderosa permitió la aparición de conductas adaptativas de un tipo nuevo que no permitía la simple gestión de los reflejos por parte del cerebro reptiliano. Esta posibilidad de conservar a largo plazo huellas mnésicas adquiridas en un contexto emocionalmente intenso, hace que cada uno de nosotros sea capaz de recordar exactamente lo que estaba haciendo en el momento de los ataques a las Torres Gemelas de Nueva York, el 11 de septiembre de 2001.

Ya lo hemos visto, el sistema límbico permite desencadenar un repertorio de reacciones, de pulsiones afectivas, de tensiones y motivaciones elementales que son necesarias para la vida y la supervivencia. Esta parte profunda del cerebro antiguo facilitará que se establezcan lazos comparativos y asociativos entre las múltiples informaciones que llegan a este territorio. A partir de esta función, sobre todo comparativa, podrán emerger las áreas asociativas corticales y el desarrollo correlativo de las capacidades cognitivas. A partir de entonces, las funciones de comparación y asociación permitirán una confrontación entre las situaciones exteriores al sujeto y el tratamiento interior de sus informaciones por las reacciones afectivas más elementales.

La tercera y última región, el neocórtex, recubre el cerebro paleomamífero. Esta adquisición reciente en la historia evolutiva culminará en la especie humana. Durante esta evolución, vemos un aumento importante de la superficie del neocórtex de un factor mil en el momento del paso del macaco al hombre. Esta región cerebral es la sede de las capacidades cognitivas superiores como el lenguaje, la poesía o las matemáticas. Una vez que el cerebro se dota de un neocórtex, podrá adquirir sensaciones conscientes de naturaleza visual, auditiva, táctil y somática. Se encontrarán soluciones nuevas a las dificultades cotidianas gracias a las conexiones de los circuitos del neocórtex y a su capacidad para remodelarse de forma permanente. Las áreas asociativas que rodean las áreas principales de las modalidades

sensoriales también se desarrollarán. Si las informaciones procedentes del medio exterior a través de las vías sensoriales llegan a las áreas de proyección primarias, su análisis (es decir, su tratamiento para llegar a una comprensión y alcanzar un valor simbólico) se verá asegurado por las áreas corticales asociativas.

En el seno de este vasto territorio heterogéneo que es el neocórtex, el córtex prefrontal es el que culminará en el *sapiens*, garantizando nuevas funciones propias del hombre como la anticipación y la planificación de la acción. Con esta última innovación evolutiva, se inventarán formas complejas de aprendizaje y memoria. Para asegurar todas estas funciones, el neocórtex comprende diez mil millones de neuronas conectadas entre sí. Algunas zonas están especializadas en funciones particulares como la motricidad, el tacto, la vista o el oído. Próximas a ellas se extienden regiones no tan bien delimitadas que integran un amplio repertorio de informaciones, se trata de las áreas de asociación que asimilan la sensación elemental (es decir, la percepción propiamente dicha) y la identifican (es decir, el reconocimiento o gnosia).

Hay que añadir a esta clasificación otra forma de jerarquía cortical que distingue las partes izquierda y derecha del cerebro. Esta dicotomía proviene del hecho de que las vías nerviosas cruzan el plano mediano del eje corporal sin posibilidad de poder repartir con igualdad sus proyecciones a un lado y otro de este plano de simetría. De este modo, las vías de la sensibilidad de la mitad del cuerpo izquierdo son recibidas por el hemisferio cerebral derecho y a la inversa. Así también, el control de la mitad del cuerpo izquierdo queda supeditado exclusivamente al hemisferio derecho y a la inversa. El lenguaje, por ejemplo, se trata principalmente en el hemisferio izquierdo; es la parte dominante de un diestro, o la parte derecha de un zurdo. De este modo, en el diestro, el cerebro izquierdo acoge el centro de planificación del gesto, la palabra y los razonamientos de tipo matemático, mientras que el derecho será el del sentido artístico y

de la intuición. Pero cuidado con las reglas demasiado simplistas ya que sabemos que ambos hemisferios intercambian permanentemente informaciones a través de una especie de autopista transversal denominada *cuero calloso*.

Dos neurobiólogos, Roger Sperry y Michael Gazzaniga, han demostrado que los hemisferios cerebrales separados tras una intervención quirúrgica (*split brain*) podían funcionar de forma autónoma. La actividad independiente de los dos hemisferios cerebrales lleva a producir funciones cognitivas distintas generadas a partir de informaciones recibidas por cada una de las partes del cerebro. R. Sperry ha sugerido incluso que esta situación podría conducir a dos estados mentales diferentes, dos estados de conciencia que se ignorarían entre sí, una hipótesis que todavía hoy se debate mucho. Sin embargo, volveremos sobre ello cuando tratemos el tema de las jerarquías del neocórtex en el capítulo 2.

Hemos subrayado hasta qué punto la historia evolutiva del sistema nervioso ha permitido ampliar la representación mental del cuerpo y del mundo necesaria para actuar o para reconocer al otro. Por lo tanto, el cerebro no es un órgano como los demás, sino que es también un elemento espejo sobre el cual se basa nuestra percepción de nosotros mismos y, aún más importante, simultáneamente la del Otro. Todos nuestros actos, todas nuestras sensaciones, están permanentemente evaluadas para medir su interés individual o colectivo (para la especie). Pero lo propio del cerebro humano es haber desarrollado una relación con el Otro regida por un sistema de valores. El desarrollo inmenso de nuestro encéfalo ha favorecido no sólo la exteriorización de nuestro pensamiento a través del lenguaje, o de la manipulación de instrumentos, sino también la interiorización del pensamiento del Otro. Esto es lo mismo que concluir que el hombre es capaz de vivir el Otro a través de sí y de demostrar compasión. Ya lo veremos, la amígdala es una estructura clave en este contexto, ya que permite leer las emociones en

los demás y realizar condicionamientos primarios entre estímulos dolorosos o reforzamientos. A nivel de la amígdala es donde se construirán las representaciones, las estrategias de acción y, al mismo tiempo, la representación del mundo que todo individuo construye. Los bucles de activación del córtex prefrontal y sus regiones subcorticales permiten al cerebro dar valores morales a objetos o a situaciones abstractas. Repasaremos de qué modo las estructuras subcorticales del roedor, que gestionan sus castigos y recompensas, han evolucionado hacia un dispositivo más complejo que constituye toda la riqueza de la especie humana, capaz de dictar reglas de conducta morales, conmoverse, apasionarse o rebelarse.

Este libro termina con una nota voluntariamente optimista. Plantea la cuestión del estatuto del hombre en los años venideros. El descubrimiento de la plasticidad cerebral se encuentra en el origen de la aparición de nuevas tecnologías que ahora están disponibles para el gran público, gracias al programa de entrenamiento cognitivo, a los psicoestimulantes y a otras moléculas «inteligentes» (*smart drugs*) que permiten optimizar el funcionamiento del cerebro, haciéndolo mejor o compensando ciertas deficiencias mediante el implante de electrodos que permiten transmitir directamente corriente a las estructuras más profundas del cerebro. Los progresos de la medicina regeneradora muestran ya que es posible reconstituir numerosos órganos como la epidermis, los vasos sanguíneos o territorios nerviosos lesionados. Los métodos desarrollados inicialmente en el ámbito teórico de las nanotecnologías están camino de penetrar actualmente en el mundo complejo de lo vivo. Aunque no todas las regiones cerebrales se contemplan todavía directamente en ingeniería de los tejidos, es probable que estos instrumentos nuevos permitan, en un futuro cercano, diagnosticar mejor, curar mejor y, sin duda, mejorar las funciones cognitivas del hombre sano o enfermo. Un mejor control de la plasticidad cerebral asociado a implantes permite también pensar en un ser

humano dotado de una memoria superpotente, un cerebro aumentado, una visión nocturna casi perfecta, o también un ser humano capaz de tomar el control, a distancia, de un robot únicamente a través de la mente. Esta visión de un cerebro adulto moldeable llevó a Ray Kurzweil,³¹ teórico del transhumanismo y de la singularidad tecnológica, a sugerir que el cuerpo y el espíritu se verán trascendidos próximamente. Según sus cálculos, el final de la civilización tal como la conocemos se producirá dentro de treinta años. ¿Acaso está ya en marcha el hombre inmortal?