

EN LA MENTE DEL NIÑO



EN LA MENTE DEL NIÑO

El cerebro en sus primeros años

TIZIANA COTRUFO

Shackleton
— b o o k s —

Primera edición en Shackleton Books: febrero de 2020

En la mente del niño

Título original: *Nella mente del bambino. Come si sviluppa il nostro cervello*

© 2016, 2020, Tiziana Cotrufo

Traducción: Juan Escribano

© 2020, de esta edición, Shackleton Books, S.L.

Shackleton
— b o o k s —

   @Shackletonbooks
shackletonbooks.com

Realización editorial del original italiano: Studio Festos, Milán.

Realización editorial de la versión española: Bonallettera Alcompas, S. L.

Diseño de cubierta: Pau Taverna

Diseño de tripa y maquetación: Kira Riera

Cartografía incluida en los apéndices: Geotec

© Ilustraciones: Jordi Dacs (págs. 20, 23, 34, 48-49, 63, 64, 69, 116, 141, 145).

© Fotografías: Presidenza della Repubblica/Wikimedia Commons (p. 29), Yanik Chauvin/Shutterstock (p. 61), Alila Medical Media/Shutterstock (p. 138), MethoxyRoxy [CC BY-SA 2.5/ Wikimedia Commons] (p. 144), joshya/Shutterstock (p. 150).

Depósito legal: B 24517-2019

ISBN: 978-84-17822-38-5

Impreso por GPS Group (Eslovenia).

Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento y su distribución mediante alquiler o préstamo públicos.

CONTENIDO

La neurociencia al servicio de los niños	7
Una analogía imperfecta	7
El desarrollo del cerebro humano	17
El cerebro embrionario y fetal: la importancia de los genes	21
El cerebro neonatal e infantil: la importancia de la experiencia	28
El cerebro del niño: períodos críticos o períodos sensibles	35
¿Y después?	39
El cerebelo cognitivo: <i>mens sana in corpore sano</i>	43
El efecto del ambiente en los genes y en el desarrollo del cerebro: la epigenética	47
La adquisición de las capacidades	53
Las capacidades sociales y las emociones	53
El lenguaje	62
La lectura y la escritura	72
Las matemáticas	75
El desarrollo de la atención y de las funciones ejecutivas	79
El aprendizaje y la memoria	85
La música, la gran olvidada	95
Qué han observado las neurociencias	99
Ambientes enriquecidos	101
Las neuronas espejo	105
Las nuevas tecnologías y la importancia de aburrirse	109
La neuroeducación	113
Neuromito 1: empleamos solo el 10% de nuestro cerebro	119

Neuromito 2: algunas modalidades facilitan el aprendizaje	119
Neuromito 3: los hemisferios cerebrales son independientes	120
Neuromito 4: los períodos críticos limitan la capacidad de aprender	123
Neuromito 5: los ambientes enriquecidos incrementan la capacidad de aprendizaje del cerebro	124
Neuromito 6: unos simples ejercicios de coordinación pueden mejorar la integración de las funciones cerebrales de los hemisferios derecho e izquierdo	125
Neuromito 7: los niños están menos atentos después de tomar bebidas azucaradas o de picar algo	126
Neuromito 8: el cerebro femenino y el masculino tienen dos formas distintas de aprender	126
Neuromito 9: creencias sobre el multilingüismo	127
Semillas de neurociencia en la educación	129
Apéndice	135

La neurociencia al servicio de los niños

En el momento de empezar a escribir este libro estoy sentada ante mi ordenador. Confieso que, dicho así, no resulta un arranque especialmente épico ni sorprendente; si la función de las primeras líneas ha de ser la de despertar la curiosidad del lector (me parece estar oyendo a mi editor), comenzar con una información tan prosaica no aparenta ser la mejor estrategia. Así que más vale que me justifique.

Una analogía imperfecta

La referencia al ordenador no es gratuita, pues se trata de la analogía habitual con la que nos hemos acostumbrado a concebir la estructura y el funcionamiento de nuestro cerebro. Al igual que el cerebro, el ordenador se compone de una serie de pequeñas unidades funcionales, distribuidas aquí y allá en áreas especializadas y todas ellas conectadas a través de un complejo sistema de cableado que asegura su interac-

ción. Como nosotros, el ordenador también recibe estímulos del exterior a través del teclado o de otros dispositivos externos, y procesa esa información para producir respuestas y ejecutar acciones. Así pues, está claro que la comparación entre uno y otro puede resultar iluminadora, y sin duda no carece de fundamento. Pero, al mismo tiempo, corre el riesgo de ser excesivamente simplista o, peor aún, engañosa, tal y como nos demuestran algunos de los avances más significativos en el campo de la neurociencia a lo largo de los últimos años. En particular, si hay una fase en la vida del individuo en la que esa imagen «computacional» del cerebro resulte particularmente inadecuada, esa es sin lugar a dudas la que se corresponde con nuestros primeros años de vida: la infancia. Volvamos al ordenador para explicarlo.

Cuando mi PC salió de la fábrica, era más o menos igual a como es en este momento: los mismos circuitos y procesadores, la misma memoria y potencia, idéntica capacidad de procesamiento. Con el tiempo puedo haber incorporado nuevos contenidos o programas, pero sus funcionalidades generales siguen siendo aproximadamente las mismas. No ha cambiado casi nada. La diferencia con el cerebro del niño, en constante ebullición, no podría ser más evidente. El niño de cinco años es capaz de «ejecutar funciones» muy distintas a las del bebé de pocos meses, no solo porque le hayamos incorporado contenidos adicionales (como si hubiéramos instalado un nuevo *software*), sino también y sobre todo porque su cerebro es en sí mismo distinto, ha cambiado: como veremos, los «procesadores» se multiplican (o se reducen) y las conexiones se modifican.

En esto consiste la llamada «plasticidad cerebral», uno de los conceptos fundamentales para entender cómo funciona el cerebro, de la cual hablaremos de manera extensa en este libro. De momento, sirva como adelanto señalar que se trata de una característica seleccionada evolutivamente para poder adaptarnos a un medio cambiante, una condición imprescindible para el éxito de cualquier especie. En lugar de estar dotados de un cerebro rígido, que siempre es igual, disponemos de un sistema capaz de modificar su configuración a lo largo de la vida, y que es a la vez causa y efecto de nuestra capacidad única para aprender. Nuestro procesador cambia con nosotros y, contrariamente a lo que se había creído durante mucho tiempo, esa flexibilidad se mantiene también a lo largo de la vida adulta (aunque, como casi todo, funciona mucho mejor en las edades más tempranas).

Sin embargo, esa plasticidad no es igual en todo momento ni para todas las habilidades. Para la mayor parte de los procesos cognitivos y sensorio-motores existen ventanas temporales muy concretas en las que la plasticidad es mayor, y por consiguiente también la capacidad de aprender. Son lo que en neurociencia se conocen como «períodos críticos o sensibles», que explican por qué determinadas capacidades y competencias son mucho más fáciles de adquirir en las etapas en las que nuestro cerebro está predispuesto a ello, mientras que su adquisición puede incluso tornarse imposible si no se reciben los estímulos necesarios en el momento oportuno.¹ Un ejemplo clásico y muy evi-

¹ Un pequeño *spoiler* para no generar una alarma injustificada: eso es imposible en condiciones mínimamente normales.

dente para la mayoría de nosotros es el aprendizaje de otro idioma, y en particular de la fonética nativa: después de casi veinte años en España, mi acento italiano sigue delatándome por muy correctamente que hable el español.

Una segunda cuestión en la que nos detendremos son las neuronas espejo, uno de los descubrimientos más revolucionarios en el campo de la neurociencia de los últimos años. Como su nombre ya nos permite intuir, se trata de un sistema que se activa internamente cuando observamos a otra persona ejecutar una acción, como si fuéramos nosotros los que la realizamos: refleja en nuestro cerebro lo que los demás hacen y las intenciones con las que lo hacen. Las neuronas espejo han puesto de relieve el papel de la imitación y de la empatía en las capacidades intelectuales y sociales. Antes, los científicos creían que nuestros cerebros empleaban procesos lógicos para interpretar y prever las acciones de los demás, que se trataba, en definitiva, de un proceso racional. Ahora parece evidente, en cambio, que comprendemos a los otros no pensando, sino sintiendo. Serían, pues, el sustrato neurobiológico que explica por qué no hay mejor manera de aprender a hablar que escuchando hablar a mamá en tono afectuoso, por qué con solo mirar cómo cose nuestra abuela podemos aprender a dar forma a los tejidos y por qué al ver a alguien feliz se nos contagia su alegría.

La cuestión del aprendizaje nos lleva al tercer aspecto diferencial de nuestro cerebro sobre el que incidiremos. Gracias a la neuroanatomía sabemos que las vías nerviosas que consolidan la memoria pasan antes por el filtro de las emociones. Si una determinada experiencia produce una

emoción, generará un recuerdo más duradero. En este sentido, la película de animación para niños, y diría que también para adultos, *Del revés (Inside Out, 2015)* ha tratado de hacer llegar a la sociedad algunas de estas evidencias de un modo sumamente accesible. Nuestras identidades están definidas por los caracteres que heredamos, pero también por las experiencias y las emociones que experimentamos: dan forma al modo en que percibimos, a cómo nos expresamos y a las respuestas que despertamos en los demás. Aunque algunas de las cuestiones que aparecen en la película pueden ser discutibles desde el punto de vista científico (como, por ejemplo, que solo haya cinco emociones que utilizan un panel de control único en el cerebro, cuando en realidad las emociones son mucho más numerosas y la conciencia es el resultado de la actividad de toda la corteza cerebral), el mensaje principal es sin lugar a dudas acertado: las emociones no solo no obstaculizan o destruyen el pensamiento racional, sino que ayudan a organizarlo. Descartes y los racionalistas sostenían que las emociones y el razonamiento lógico circulaban por vías paralelas, y ahora, en cambio, tenemos muy claro que las emociones participan en el desarrollo correcto de la racionalidad e incluso de nuestro juicio moral acerca del bien y del mal. Hasta la tristeza, que concebimos como una emoción poco productiva e inerte, puede empujar a los individuos a reaccionar ante una pérdida y a aprender de esta. ¿Por qué, entonces, no se enseña a partir de la generación de emociones?

Plasticidad cerebral, neuronas espejo e importancia de las emociones son, pues, las tres características esenciales

en el proceso de aprendizaje que hacen inadecuado el «modelo computacional» cuando se trata de analizar el cerebro del niño. Sobre estas y otras propiedades biológicas igual de relevantes es preciso reflexionar e investigar a fin no solo de conservarlas, sino también de incrementarlas y sobre todo utilizarlas lo mejor posible, tanto por parte de los padres como de los profesores, para educar a nuestros niños. La escuela de hoy no puede obviar esas tres características, sino que debe saber manejar los tiempos y los rasgos para ayudar a los niños y a los jóvenes a construir su cerebro, lo que significa también su comportamiento.

Sin embargo, en la actualidad nos encontramos con un doble problema. Por un lado, las reformas educativas no suelen tomar en consideración los conocimientos acumulados por la neurociencia; y por el otro, no siempre se ha logrado transmitir de modo adecuado esos conocimientos al conjunto de la sociedad. En el peor de los casos, esos avances científicos se han desvirtuado para convertirse en un verdadero mercado que a menudo empuja a los padres a buscar guarderías que ofrezcan técnicas casi mágicas, a comprar juegos de estimulación de lo más sofisticados o a confiar en exóticas metodologías para el aprendizaje de las matemáticas o de los idiomas con presuntas bases neurocientíficas; todo ello aprovechando el noble y comprensible interés de los progenitores por ofrecer un futuro brillante a sus seres más queridos.

No se trata de desacreditar la eficacia de todas las metodologías novedosas. Algunas de las más actuales han supuesto un verdadero avance para trabajar con niños en

circunstancias especiales que dificultan su desarrollo: por ejemplo, niños autistas, disléxicos, con trastornos de la atención o hiperactividad, casos todos ellos en los que sí que se requiere una atención especial y, sobre todo, técnicas de aprendizaje adaptado. Se trata así de una invitación a utilizar las evidencias acumuladas tras años de investigación científica para aplicarlas en el desarrollo de los métodos de enseñanza más adecuados, en lugar de emplear supuestos recursos milagrosos que prometen una dudosa estimulación precoz. Es preciso, pues, destruir los «neuromitos» que la sociedad ha creado, conscientemente o no, en su propio interés y buscar todo cuanto de verdadero hay en el ámbito de la investigación sobre el cerebro para facilitar no solo el conocimiento, sino también la felicidad que el conocimiento ofrece, ¡y esto sí que significa APRENDER!

En este libro nos proponemos aclarar cuáles son las fases fundamentales del desarrollo del sistema nervioso, los mecanismos con los que actúa la plasticidad sináptica y los procesos cerebrales con los que se captan los diversos estímulos, con el objetivo último de poner la neurociencia al servicio de nuestros hijos.

La primera parte del libro seguirá una estructura cronológica. Empezaremos describiendo las primeras etapas en el desarrollo cerebral, aquellas que se producen durante los meses del embarazo (y en las que, como es lógico, casi todo depende de los genes). A partir del parto seguiremos la pista de la evolución del sistema nervioso infantil, desde el recién nacido hasta el preadolescente, etapas en las que el ambiente y los estímulos externos adquieren protagonismo.

Y aunque no sea el objeto de este libro, aprovecharemos también para hacer una breve incursión en la adolescencia, el período que se ha descrito como el de «máxima capacidad destructiva y mínima capacidad de razonamiento» (como bien saben los padres de adolescentes).

Después de esta primera parte cronológica, en los dos capítulos siguientes nos centraremos en el desarrollo y la adquisición de las principales capacidades (como son el lenguaje, la escritura y las habilidades matemáticas) y trataremos de mostrar cómo los recientes progresos en la neurociencia nos pueden ayudar a comprender mejor los procesos del aprendizaje. El sexto capítulo cerrará el libro con una mirada a la nueva disciplina de la neuroeducación y el modo en que ha logrado ya, por lo menos, destruir algunos neuromitos.

Al tratarse de un libro de neurociencia, es inevitable que a lo largo de sus páginas se haga referencia a distintas partes de la anatomía cerebral. Aunque he limitado la terminología técnica a lo estrictamente necesario, obviarla por completo sería tan complicado como escribir un libro de nutrición sin hablar del estómago y los intestinos. Para no entorpecer en exceso la lectura, ni hacerla aburrida a los lectores más familiarizados con la disciplina, he añadido como apéndice un capítulo que proporciona una mínima información anatómica: aunque nuestro cerebro no sea un ordenador, para entender su funcionamiento es necesario poseer algunas nociones básicas sobre sus unidades funcionales (neuronas) y su estructura (el «cableado» y las distintas áreas en las que se organiza).

Antes de concluir este capítulo introductorio deseo hacer una última observación fundamental sobre esta «analogía imperfecta» de la que estamos hablando: si el cerebro no es (solo) un ordenador, se sigue que no hay manuales de instrucciones que permitan «programarlo». El lector que busque recetas infalibles para transformar a su hijo en Einstein (tal como han prometido y prometen algunos libros) no las encontrará en estas páginas. Afortunadamente, la ciencia es mucho más humilde y prudente en sus afirmaciones, aunque esto implique renunciar a titulares sensacionalistas o a eslóganes de impacto. Como científica (y como madre) he optado por el rigor científico, antes que por los efectos especiales.

Si hay una idea popular y extendida en la neurociencia es que la red de centenares de miles de millones de células nerviosas que se forman durante el desarrollo embrionario y en el curso de la infancia y de la adolescencia es lo que hace de cada uno de nosotros un ser único y distinto de los demás. No existen fórmulas mágicas para un correcto desarrollo, sino cuatro ingredientes esenciales que deben estar presentes y acompañar durante la infancia: el afecto, y el cuidado, un ambiente estimulante y el tiempo. Tendemos a recordar los primeros tres, pero demasiado a menudo nos olvidamos del último.

Lamberto Maffei (1936), que supervisó y dirigió mis estudios de doctorado, me decía con insistencia mientras corríamos relajadamente por los campos de Pisa que, para pensar y crear, es necesario sobre todo tiempo. Como mínimo desde un punto de vista neurocientífico, aprender a

manejar el aburrimiento puede llevar a un niño a establecer importantes conexiones sinápticas (las que se producen entre las neuronas) que le permitirán ser más creativo y concebir nuevas ideas.

El desarrollo del cerebro humano

La inmensa variedad de funciones y comportamientos regulados por el sistema nervioso de un adulto —desde la simple percepción de un estímulo doloroso o el control de un movimiento, hasta la consolidación de los recuerdos con el aprendizaje— depende de una intrincada red de conexiones que se establece entre células muy especiales, las neuronas. Y todas estas neuronas en conjunto, bien prietas, forman la estructura ovoide repleta de pliegues y giros que llamamos «cerebro».

Pero ¿cómo y cuándo se forman estas neuronas, y cómo se comunican entre sí? En general, a pesar de la gran diversidad que existe entre los animales, los mecanismos que regulan la formación del sistema nervioso se han mantenido incluso en organismos separados por millones de años de evolución. No obstante, algunas características de los humanos, y en menor grado de otros mamíferos, son un tanto especiales: si bien las personas estamos bastante indefensas y somos sumamente dependientes al nacer, nuestras capacidades de razonamiento, aprendizaje, decisión y abstracción son de todo punto prodigiosas.

Si analizamos a grandes rasgos las diferencias, nos daremos cuenta de que nuestro desarrollo es sustancialmente más lento que el de los otros primates. Existe un modelo de evolución del cerebro que predice con acierto las dimensiones relativas de las diversas regiones cerebrales respecto a los tiempos de desarrollo en varias especies de mamífero. Pues bien, ese modelo se ha aplicado ahora al desarrollo prenatal del cerebro humano. El modelo predice que cuanto más lento es el proceso de desarrollo en una especie, más grande es el volumen relativo de las estructuras que se forman en las fases más tardías del desarrollo. Este sería el motivo por el que en la especie humana el volumen de la corteza² —sobre todo de la prefrontal— es tan considerable. Pero este desarrollo más tardío tiene también otra ventaja: permite que haya un período posterior al nacimiento en el que la interacción con el ambiente contribuye de manera sensible a la generación y conformación de las conexiones. Dicho con otras palabras: en el momento de nacer, los seres humanos son mucho menos maduros que las otras especies animales, cuyo desarrollo completo termina en gran parte durante la gestación. Sin embargo, lejos de ser un inconveniente, tal estado de inmadurez deja la puerta abierta a la influencia de las experiencias y de los factores externos, y esto es lo que más nos distingue como especie: la capacidad de aprender.

En este punto no puedo dejar de recordar el libro de mi profesor Lamberto Maffei, *Alabanza de la lentitud*, en el

² Se recuerda al lector que, al final del libro, encontrará un apéndice con una breve explicación anatómica del cerebro.

que explica con precisión que el cerebro es una máquina lenta y que tal lentitud constituye la base esencial de nuestras capacidades cognitivas. El modelo de sociedad actual se apresura, produce de manera acelerada sin apreciar los beneficios de la lentitud, especialmente en nuestro caso, como animales pensantes. Y esto es particularmente cierto en el caso de los niños, cuyos cerebros son tan plásticos que lo último que debemos hacer es precipitarnos y actuar como si existiera una especie de cuenta atrás, que una vez agotada impidiera seguir aprendiendo.

El proceso de desarrollo del cerebro humano empieza aproximadamente a las tres semanas de gestación, con el proceso de diferenciación de las células progenitoras de las neuronas: en otras palabras, entre las numerosas células que ya posee el embrión, las que han de convertirse en neuronas comienzan a asumir su identidad. La sucesión de hechos clave prosigue de manera revolucionaria en la fase fetal e infantil, y se vuelve más moderada en la adolescencia, pero, sin duda, continúa durante toda la vida.

Todos los mecanismos que contribuyen a ese desarrollo oscilan entre los hechos moleculares guiados por factores intrínsecos, los genes, y otros igual de potentes producidos por las diversas experiencias que tiene el niño, es decir, extrínsecas al individuo.

Pero ni los genes ni el ambiente por sí solos son totalmente determinantes para que el cerebro se forme de modo adecuado. Más bien, el desarrollo del cerebro se caracteriza por una serie compleja de mecanismos dinámicos y adaptativos que se activan durante todo el tiempo necesario para

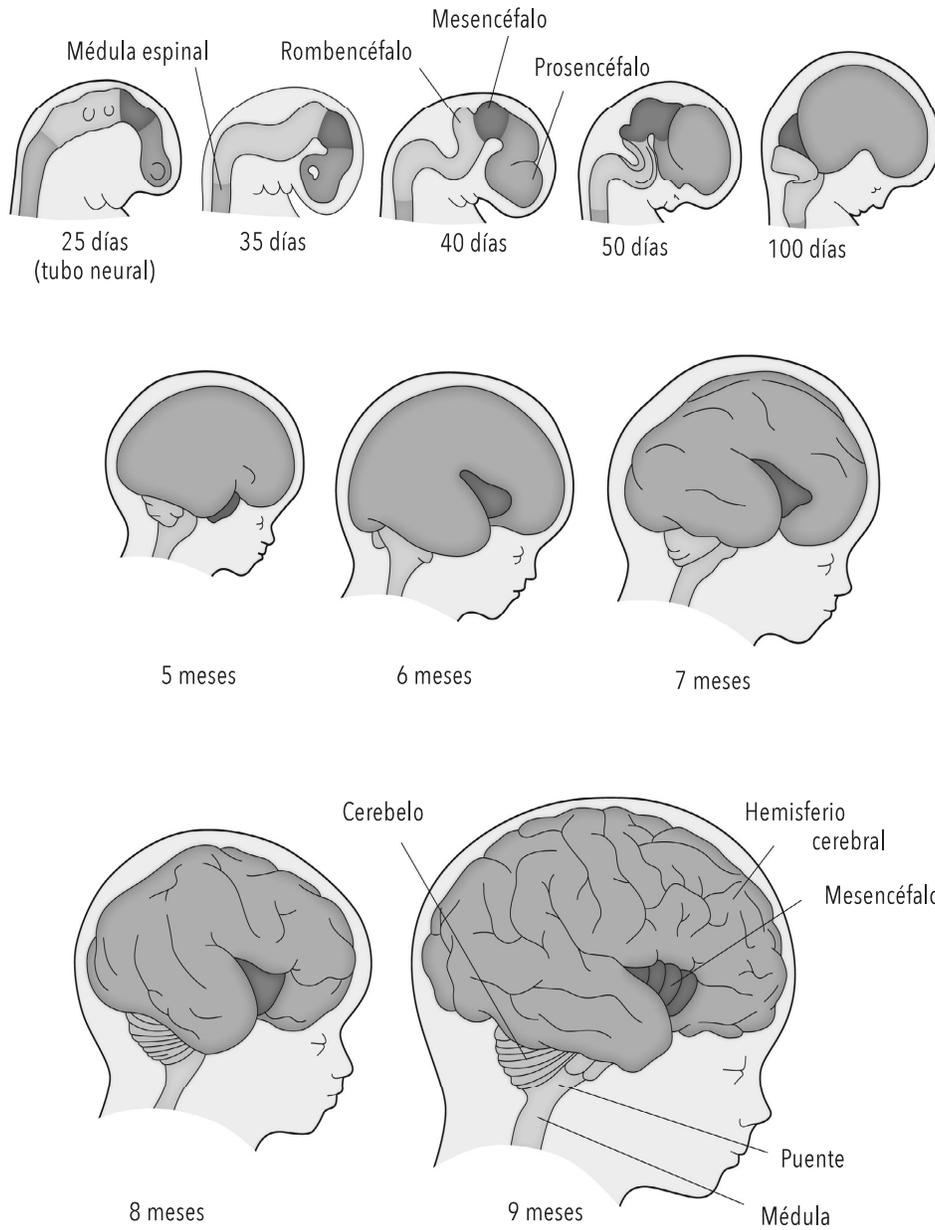


Figura 1. Desarrollo del cerebro a partir del tubo neural durante la gestación. Obsérvese el excepcional desarrollo del prosencéfalo, que origina los hemisferios cerebrales.

permitir la aparición y diferenciación de nuevas estructuras neuronales, o para la mejora de las ya existentes. Estos procesos tienen lugar, por tanto, en contextos pautados y organizados genéticamente pero en continua transformación. Por eso mismo requieren que el cerebro tenga plasticidad. De este modo, según el esquema expuesto, la experiencia que acumula cada individuo puede dejar improntas indelebles en su sistema nervioso y en este punto radica la necesidad del aprendizaje para potenciar las capacidades cognitivas de los más pequeños.

El cerebro embrionario y fetal: la importancia de los genes

A más de uno le sorprenderá saber que, cuando se han cumplido las primeras tres semanas de gestación, lo que acabará convirtiéndose en nuestro cerebro de adultos es tan solo un tubo, debido a un proceso llamado «neurulación». Todavía está abierto por los extremos, pero en un par de días se cerrará del todo.

Poco a poco, aproximadamente hacia el vigésimo cuarto día, en el tubo se formará una protuberancia anterior y, en la semana siguiente, una más central y una posterior. Sus nombres técnicos son prosencéfalo, mesencéfalo y rombencéfalo (véase la figura 1). Según se van formando, estos relieves comienzan a curvarse y continúan haciéndolo hasta asemejarse a una alubia al final del segundo mes: el prosencéfalo se divide claramente en dos mitades que siguen

creciendo proporcionalmente hasta convertirse en los hemisferios cerebrales. El aumento considerable de las dimensiones se debe a que las células progenitoras de las neuronas (los neuroblastos) comienzan a dividirse, con lo que dan origen a las neuronas; nos hallamos en plena neurogénesis. Las divisiones se producen tan rápidamente que el número de células presentes en la corteza cerebral del embrión se duplica cada día.

La mayor cantidad de divisiones se produce normalmente en la superficie interna del tubo neural, que permanece vacío en su interior y origina el canal central en la médula espinal y los cuatro ventrículos cerebrales en el encéfalo propiamente dicho. El canal central y los ventrículos están, pues, comunicados entre sí, y en su interior fluyen entre 60 y 200 mililitros de líquido cefalorraquídeo que hace de cojinete hidráulico. Las jóvenes neuronas deben emigrar entonces para alejarse de la parte más profunda del cerebro y formar la parte más externa. A menudo lo hacen ancladas a sus fieles amigas las células gliales, que preparan grandes carriles entre la superficie del tubo y la más externa para allanar el camino.

La fase embrionaria termina hacia la octava semana de gestación, cuando las estructuras rudimentarias del cerebro y del sistema nervioso ya están formadas en los extremos superiores.

El período fetal, que se extiende prácticamente desde la novena semana de gestación hasta el nacimiento, es una fase de grandes transformaciones. Las más evidentes son las de la corteza, que finalmente empieza a formar los clásicos

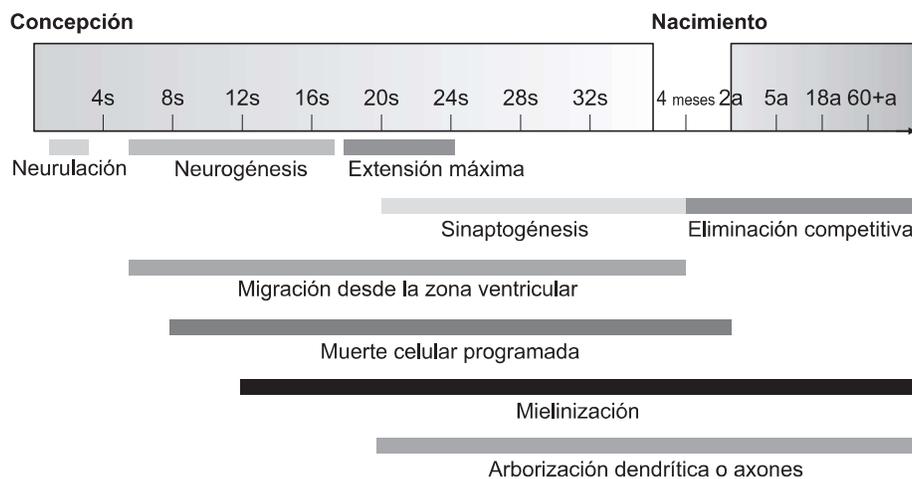


Figura 2. Secuencia temporal de los principales procesos del desarrollo cerebral humano.

pliegues y surcos. Entre las semanas décima y vigésima, el ritmo de producción es de cerca de 20 000 neuronas por minuto, con lo que al fin de la vigésima semana de gestación, es decir, solo a los cinco meses de embarazo, la corteza cerebral ha alcanzado ya un volumen que puede llegar a aproximarse a los 10 000 millones de neuronas y a constituir el 25% del peso del cuerpo. Si consideramos que en los adultos el cerebro representa cerca del 2% del peso, hay que admitir que en este momento del desarrollo somos mucho más cerebrales. Hasta la trigésima cuarta semana de gestación seguirá el ritmo frenético en la corteza cerebral, en un agitado proceso de diferenciación que conduce a la formación de las seis capas en las que se divide nuestra materia gris. Las estructuras subcorti-

cales también siguen madurando en estas semanas, en particular los principales haces de fibras nerviosas que van y vuelven de la corteza.

¿Qué ocurre después? Una vez que las neuronas se han colocado en la región que les corresponde, lo primero que tienen que hacer es empezar a formar las extensiones necesarias para comunicarse las unas con las otras. Entre todos los pelitos que comienzan a formarse, uno de ellos se convertirá en el axón y empezará a crecer en una jungla de otras prolongaciones y otros axones similares siguiendo el camino marcado por otras neuronas pioneras, o bien por sustancias cuyo objetivo es guiarlos (un poco como las miguitas de pan de Hänsel y Gretel). Después, una vez ha alcanzado su destino —ya sea otra neurona, o un órgano o músculo de nuestro cuerpo—, la neurona detiene su crecimiento y empieza a enviar señales para hacerse reconocer. Esta fase, que se inicia hacia el sexto mes, se llama «sinaptogénesis» porque lleva a la generación de las sinapsis. Este proceso es tan complejo que cuando lo imagino sigue pareciéndome imposible tal milagro de organización. Es el que permite, desde el fin del quinto mes, sentir los primeros movimientos del feto: las primeras sinapsis hacen pruebas y producen reflejos y movimientos involuntarios.

Con el tiempo, entre el séptimo y el octavo mes, estas sinapsis mejoran aún más y permiten al feto oír la voz de quienes le hablan, degustar el líquido amniótico y moverse voluntariamente cuando se encuentra en una posición incómoda.

Pero la cosa no acaba aquí: nacemos con muchas más neuronas de las realmente necesarias, por lo que en cierto momento aquellas que no sirven, es decir, las que no han logrado establecer conexiones funcionales con las demás neuronas, se eliminarán. Resulta tan ilógica la idea de que un órgano pueda completar su desarrollo solo tras la muerte de algunas de sus células inservibles que han sido necesarios más de treinta años de claras observaciones experimentales para confirmarla. Este fenómeno se conoce como «muerte celular programada» o «apoptosis», un término que en griego designa la caída de las hojas de los árboles (en las neurociencias, se suele emplear la analogía del sistema nervioso con un bosque, debida a la semejanza morfológica de las neuronas con los árboles: las dendritas serían las ramas, y el axón el tronco).

Pero ¿para qué sirve este proceso? En el sistema nervioso periférico, esto es, en la parte del sistema nervioso que incluye los nervios que salen de la médula espinal y llegan a ella, la apoptosis permite adecuar el número de neuronas asociadas a cualquier órgano o músculo, ya que las dimensiones y necesidades de todos ellos cambian con el crecimiento. El objetivo es que no haya ni una neurona más de las que son estrictamente necesarias. Y en el sistema nervioso central ocurre más o menos lo mismo: mantiene una óptima proporción entre las células gliales y las neuronas, y, para ello, elige entre estas últimas las que son imprescindibles para su funcionamiento.

Todos estos procesos tienen lugar en tiempos y a velocidades ligeramente diversos según la región, pero están

bien controlados por la expresión de los genes en la fase embrionaria y fetal, así como por la experiencia posterior. La sinaptogénesis tiende a concluir en primer lugar en aquellas partes del cerebro que son necesarias en las primeras etapas de la vida y después en las áreas cuyas funciones pueden y deben depender de la experiencia: primero la corteza sensorial y motriz, después la parietal del lenguaje y la temporal de la atención espacial. La corteza prefrontal, el cerebelo y el hipocampo son los últimos en disponer del número definitivo de neuronas y de circuitos.

Hasta el nacimiento, el desarrollo del feto se guía casi únicamente por el bagaje genético, los llamados «factores intrínsecos». Estos determinan el momento y el ritmo de las divisiones celulares, la dirección de las migraciones, la identidad de cada axón, los destinos concretos a los que deberán dirigirse, el tipo de neurotransmisor que debe emplearse y la muerte celular programada.

En este punto conviene señalar que las proteínas que en un determinado momento se generan para eliminar las neuronas innecesarias son también las responsables de cumplir otra función esencial para el desarrollo del cerebro: la poda (o *pruning*) de las conexiones neuronales, un proceso dirigido tanto por la experiencia como por los genes. En 1987, el biólogo estadounidense Gerald Edelman (1929-2014) denominó a esta reducción de las sinapsis «darwinismo neural», según la lógica de *use it or lose it* (‘úsalo o piérdelo’). En otras palabras, consiste en una eliminación competitiva de las sinapsis que permite que se mantengan y se estructuren las conexiones que efectivamente se utili-

zan. Por el contrario, las conexiones menos activas se eliminan o sustituyen.

Los principales responsables de la apoptosis y del *pruning* son las neurotrofinas (o factores neurotróficos): como su nombre indica, son sustancias que nutren a las neuronas y permiten su supervivencia. Estos factores neurotróficos los descubrió la neurobióloga italiana Rita Levi-Montalcini (1909-2012) y funcionan como factores intrínsecos o extrínsecos, en función de las circunstancias. De acuerdo con la hipótesis neurotrófica, las neuronas competirían por una cantidad limitada de nutrientes liberados por su *target* u objetivo. Solo los axones que han establecido un contacto adecuado con sus dendritas —y cuyas correspondientes sinapsis dan señales de buen funcionamiento— serán capaces de nutrirse de estos factores; los demás se quedarán sin nada que llevarse a la boca, lo que provocará la muerte paulatina de las neuronas a las que pertenecen. De ello se ocupan, en un primer momento, los genes a través de la actividad espontánea de las neuronas antes de recibir estímulos; posteriormente, la experiencia se convertirá en la auténtica responsable de la actividad nerviosa. En un caso o en el otro, es evidente que debe existir un contacto social entre las neuronas para que se determine en cuáles recae el privilegio de sobrevivir.

Este mecanismo de muerte, que instintivamente nos lleva a pensarlo como si fuera algo negativo, que deberíamos tratar de contrarrestar, en realidad es absolutamente necesario para el buen desarrollo de las conexiones cerebrales y tiene lugar sobre todo desde los dos meses de gestación hasta los dos años del niño.