CAPITULO 2

Aprendizaje y cerebro

Elementos básicos del sistema nervioso humano
Neuronas
Sinopsis
Células gliares
Estructuras y funciones del cerebro
Métodos para la investigación del cerebro
Partes del cerebro
El hemisferio izquierdo y el derecho
Interconexiones de las estructuras cerebrales
Desarrollo del cerebro
Desarrollo prenatal
Desarrollo durante la infancia y la niñez temprana
Desarrollo durante la niñez intermedia, la adolescencia y más allá
Factores que influyen en el desarrollo del cerebro
¿En qué medida existen períodos críticos en el desarrollo del cerebro?
¿En qué medida el cerebro está «predispuesto» para saber o aprender cosas?
Bases fisiológicas del aprendizaje
Implicaciones educativas de la investigación del cerebro
Resumen

Un familiar mío sufrió un daño cerebral, para proteger su intimidad le llamaremos Amable. De niño, Amable era bastante normal: iba bien en la escuela, pasaba su tiempo libre jugando a los típicos juegos «de niños» con sus amigos y, con frecuencia, viajaba con sus padres y hermanos. Las personas que le conocían lo describían como inteligente, dulce y sensible. Pero, incluso, en aquel momento, probablemente, ya tenía pequeños trastornos en su cerebro. Por una parte, tenía problemas para retrasar la gratificación: siempre quería las cosas ahora, ahora y ahora. Además, las decisiones que tomaba solían ser bastante nefastas, como cuando abandonaba a su tortuga en la cama de manera que esta se caía, se le rompía el caparazón y moría al día siguiente.

Cuando Amable tenía diecisiete años, las cosas se pusieron realmente mal. A pesar del toque de queda y de las consecuencias que podía tener ignorarlo, permanecía fuera de su domicilio hasta altas horas de la madrugada; en ocasiones no volvía a casa hasta el mediodía siguiente. Cada vez se hizo más hostil y agresivo, y sus padres se veían incapaces de razonar con él. Era muy difícil sacarlo de la cama para que fuera al colegio; sus calificaciones empeoraron y en diciembre ya estaba claro que tendría dificultades para aprobar el curso. En enero su conducta incontrolada le llevó a la

comisaría de policía. Mientras esperaba el juicio iba cayendo en un estado de letargo hasta que llegó un momento en que apenas se movía: no quería comer y no parecía capaz de andar o hablar. Cuando apareció el día del juicio en una silla de ruedas, consciente pero abúlico, el juez lo envió a un hospital mental.

Amable fue oficialmente diagnosticado de un *trastorno bipolar,* que se caracteriza por la alternancia entre períodos de una intensa actividad (manía) seguidos por períodos de profunda tristeza y depresión. Especialmente durante los períodos maníacos, Amable mostraba indicios de **psicosis:** su pensamiento se alteraba hasta el punto en que no funcionaba de manera normal. Parecía incapaz de razonar, tomar las decisiones apropiadas o controlar sus impulsos. Es más, con frecuencia tenía alucinaciones auditivas que le hacían escuchar voces imaginarias. A partir de tales síntomas, los médicos diagnosticaron una *esquizofrenia* asociada al trastorno bipolar, lo que se conoce como trastorno esquizoafectivo.

La medicación hizo maravillas con Amable: lo tranquilizó, aclaró sus ideas, le permitió controlar sus impulsos y le ayudó a interpretar y responder de manera apropiada a las circunstancias de la vida cotidiana. También le permitió terminar sus estudios de primaria; aunque, como tantas personas con una enfermedad mental, Amable en ocasiones abandonaba su medicación. Cuando lo hacía, su cerebro volvía a trastornarse y terminaba de nuevo en la cárcel o, si tenía suerte, en el hospital. Amable apenas recordaba lo que había hecho mientras estaba en estado psicótico. Probablemente era lo mejor que podía pasarle.

El cerebro humano es un mecanismo increíblemente complejo y los investigadores tienen un largo camino que recorrer hasta llegar a comprender cómo funciona y por qué no siempre funciona tan bien como debiera. No obstante, se han realizado considerables progresos en las últimas dos décadas, de manera que el conocimiento sobre la anatomía y la fisiología del cerebro avanzan a saltos gigantes.

En este capítulo estudiaremos las bases biológicas del pensamiento y del aprendizaje. Comenzaremos colocando bajo el microscopio las piezas básicas del sistema nervioso humano. A continuación, examinaremos las estructuras que componen el cerebro y las funciones que tiene cada una de ellas. Más adelante, recorreremos el desarrollo del cerebro a lo largo del tiempo (en ese momento especularemos sobre las razones por las que el cerebro de Amable se trastornó en el momento en que lo hizo), y describiremos las propuestas de los investigadores sobre las bases fisiológicas del aprendizaje. Finalmente, analizaremos las implicaciones educativas que podemos extraer y las que *no podemos* extraer de ese almacén de conocimientos que estamos atesorando en relación con el cerebro. A medida que vayamos avanzando en cada uno de estos temas, iremos desacreditando algunos mitos comunes sobre el cerebro, que en la actualidad campan por sus fueros en la bibliografía educativa.

ELEMENTOS BÁSICOS DEL SISTEMA NERVIOSO HUMANO

El sistema nervioso humano tiene dos componentes principales. El **sistema nervioso central,** que comprende el cerebro y la médula espinal, es el centro de coordinación: conecta lo que sentimos, esto es lo que vemos, oímos, olemos, gustamos y sentimos, con lo que hacemos (por ejemplo, la forma en que movemos nuestros brazos y piernas). El **sistema nervioso periférico** es el sistema de mensajería: transmite la información desde las *células receptoras,* que están especializadas para detectar tipos específicos de estimulación (luz, sonido, química, calor, presión) hasta el sistema nervioso central y, de vuelta, hacia las distintas partes del cuerpo para responder a estos estímulos.

Las **neuronas** o células nerviosas proporcionan el medio para que el sistema nervioso transmita y coordine la información. Resulta curioso que las neuronas no se tocan entre sí de manera directa, sino que envían mensajes químicos a las neuronas adyacentes a través de pequeños huecos que reciben el nombre de **sinapsis.** A su vez, las neuronas dependen de otras células, conocidas como **células gliares** que les proporcionan estructura y apoyo. Vamos a describir brevemente cada uno de esos elementos del sistema nervioso.

Neuronas

Cada neurona del cerebro humano tiene una de estas tres funciones. Las **neuronas sensoriales** transportan la información que llega de las células receptoras. Vuelcan esta información a las interneuronas, que integran e interpretan el ***input*** que proviene de diferentes lugares. Las «decisiones» resultantes se transmiten a las **neuronas motrices,** las cuales envían mensajes que indican a las partes apropiadas del cuerpo cómo actuar y responder[1]. Como se puede adivinar, las neuronas sensoriales y las motrices están localizadas en el sistema nervioso periférico, mientras que la gran mayoría de las interneuronas pueden encontrarse en el sistema nervioso central y, especialmente, en el cerebro.

Si bien las neuronas pueden variar en cuanto a su forma y tamaño, todas ellas tienen ciertas características en común (véase la figura 2.1). En primer lugar, igual que el resto de las células, tienen un cuerpo celular o **soma,** que contiene el núcleo de la célula y es responsable de la salud celular. Además, tienen unas estructuras ramificadas, las **dendritas,** que reciben los mensajes procedentes de otras neuronas. También tienen un **axón,** una estructura muy larga parecida a un látigo que transmite la información a otras neuronas (en ocasiones, una neurona puede tener más de un axón). El extremo del axón puede ramificarse varias veces y al término de esas delegadas ramificaciones encontramos unos **botones terminales** que contienen ciertas sustancias químicas de las cuales hablaremos más adelante. En algunas neuronas, la mayor parte del axón está recubierto por una sustancia blanca y grasienta, conocida como ***mielina***.

Cuando las dendritas de las neuronas resultan estimuladas por otras células (ya sean las células receptoras u otras neuronas), las dendritas se cargan de electricidad. Algunas veces las cargas son tan pequeñas que la neurona las ignora. Pero cuando esa carga alcanza un cierto nivel (que se conoce como **umbral de excitación),** la neurona se «dispara» y envía un impulso eléctrico a lo largo de su axón hacia los botones terminales. Si el axón está recubierto de mielina, el impulso viaja muy rápidamente, mientras que la ausencia de mielina repercute en una transmisión más lenta.

Sinapsis

Los extremos ramificados de una neurona no llegan a tocar las dendritas o los somas de otras neuronas. Si bien la transmisión de información en el interior de una neurona se realiza mediante impulsos eléctricos, la transmisión entre neuronas se hace mediante sustancias químicas que se denominan **neurotransmisores.** Estas sustancias son las que viajan entre las sinapsis y estimulan las dendritas o los somas de otras neuronas.

[1] En ocasiones podemos encontrar que cada una de estas neuronas se denomina, respectivamente, neuronas receptoras, neuronas de ajuste y neuronas efectoras.

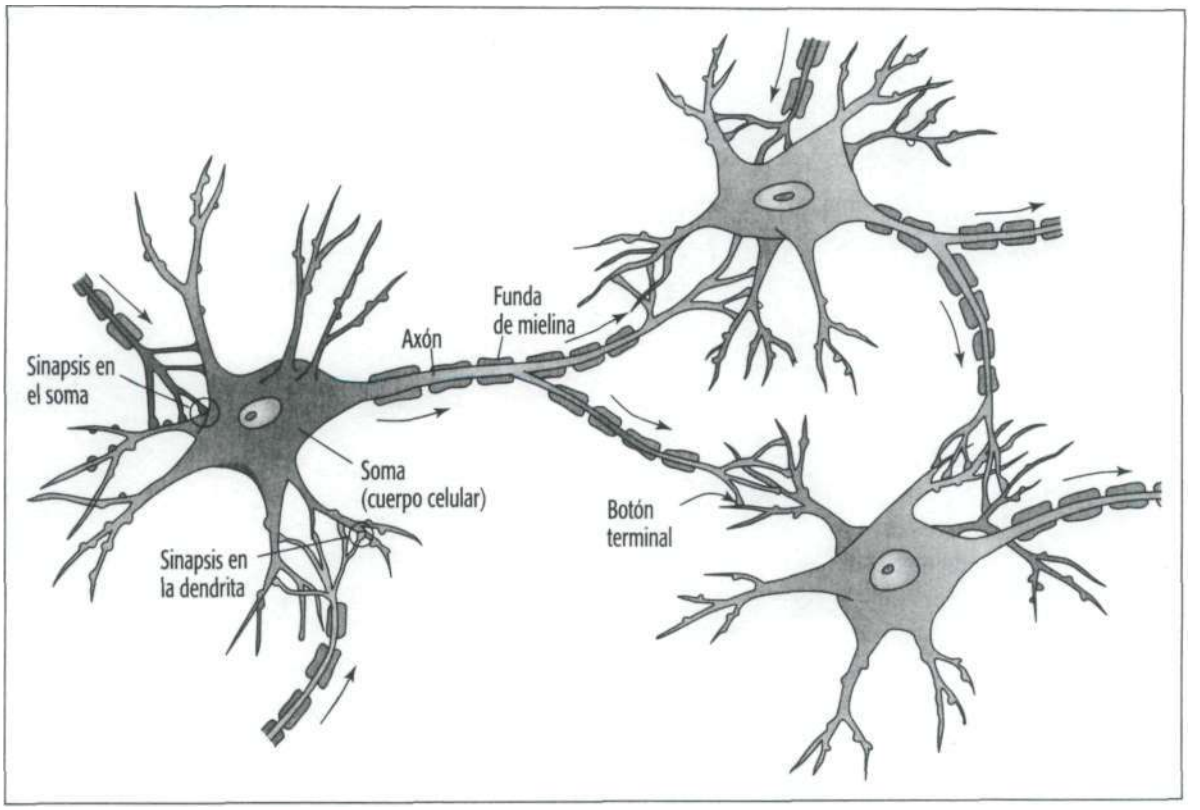

Figura 2.1 *La neurona y sus interconexiones.*

Las diferentes neuronas se especializan en diversos tipos de neurotransmisores. Es probable que usted haya encontrado alguna vez referencias a sustancias como la dopamina, adrenalina, noradrenalina, serotonina, aminoácidos o péptidos. Todas estas sustancias son neurotransmisores, y cada una de ellas desempeña un papel especial en el sistema nervioso. Por ejemplo, la dopamina es el neurotransmisor clave de la corteza frontal que, como veremos a continuación, está activamente implicado en la conciencia, la planificación y la inhibición de conductas e ideas irrelevantes (Goldman-Rakic, 1992). Algunos investigadores sospechan que la esquizofrenia puede ser un producto de niveles anormales de dopamina (Conklin y Iacono, 2002; Walker, 2002). (Recuérdense las dificultades de Amable ante la toma decisiones y el control de sus impulsos).

Cada neurona tiene conexiones sinápticas con cientos de otras neuronas (Goodman y Tessier-Lavigne, 1997; R. F. Thompson, 1985). Algunos neurotransmisores incrementan el nivel de actividad eléctrica de las neuronas que estimulan, mientras que otros lo inhiben. Por lo tanto, el hecho de que una neurona determinada se dispare tiene mucho que ver con la medida en que sea «animada» y «desanimada» por sus vecinas.

Células gliares

Sólo el 10% de las células del sistema nervioso son neuronas. El otro 90% son células gliares, también conocidas como *neuroglia*. Las células gliares no transmiten mensajes por sí mismas, sino que actúan como apoyo para que las neuronas realicen su trabajo. Por ejemplo, proporcionan

una estructura estable que permite que las neuronas permanezcan en su sitio y aisladas entre sí. También proporcionan las sustancias químicas que las neuronas necesitan para funcionar adecuadamente. Constituyen las fundas de mielina que recubren los axones de muchas neuronas, y trabajan como equipo de limpieza para eliminar las neuronas muertas y el exceso de sustancias neurotransmisoras.

En el cerebro humano, estas piezas básicas (neuronas, sinapsis y células gliares) son las responsables de nuestra supervivencia (ya que nos permiten respirar o dormir), de que seamos capaces de identificar los estímulos, sentir emociones y de implicarnos en muchos procesos de pensamiento consciente como la planificación, la lectura o la solución de problemas matemáticos, que son específicamente humanos.

ESTRUCTURAS Y FUNCIONES DEL CEREBRO

En algunos casos, las neuronas sensoriales están directamente conectadas con las neuronas motoras en la médula espinal. Por ejemplo, si usted toca algo muy caliente, las neuronas sensoriales que viajan desde la punta de los dedos a través del brazo hasta la médula espinal, comunican a las neuronas motoras que viajan por el brazo hacia los músculos de la mano, que retiren rápidamente los dedos. Y esto se hace de una manera automática o **refleja,** sin que medie ningún pensamiento consciente. Evidentemente el cerebro percibe el calor, pero la médula espinal le permite eludir el peligro sin que el cerebro necesite ponerse a especular sobre las condiciones de la situación.

Sin embargo, la mayor parte de la información exterior sí penetra en el cerebro, que es el que decide si responde y de qué manera lo hace. El cerebro humano es un mecanismo increíblemente complicado que se compone de unos 100 billones de neuronas (Goodman y Tessier-Lavigne, 1997). Esas neuronas son microscópicas y se encuentran interconectadas de infinidad de formas. Por lo tanto, los investigadores se encuentran ante un considerable desafío para describir cómo funciona el cerebro y qué estructuras realizan determinadas funciones, si bien a pesar de ello, el progreso de la investigación cerebral está siendo considerable.

En esta sección describiremos los métodos que utilizan los investigadores para estudiar la naturaleza y las funciones de las diferentes partes del cerebro. A continuación examinaremos sus descubrimientos, identificaremos las funciones que aparentemente realiza cada una de sus estructuras, y aprenderemos de qué manera los dos hemisferios del cerebro actúan de manera diferente en el pensamiento y el aprendizaje. Posteriormente, cuando describamos la naturaleza interconectada del cerebro, nos daremos cuenta de que el pensamiento nunca está localizado en un punto específico.

Métodos para la investigación del cerebro

Para realizar sus investigaciones, los científicos disponen de diversos métodos:

- *Estudios con animales.* Algunos investigadores se toman ciertas libertades con animales (por ejemplo, con ratas de laboratorio), que nunca harían con seres humanos. Por ejemplo, pueden seccionar una parte del cerebro del animal, insertar una delgada aguja en cierto lugar y estimular eléctricamente esta zona, aumentar los niveles de ciertas hormonas o inyectar sustancias químicas que bloquean ciertos neurotransmisores. A continuación observan los cambios que se producen en la conducta del animal, y suponen que tales cambios

reflejan las funciones que realizan determinadas estructuras del cerebro, las hormonas o los neurotransmisores.

- *Estudios de casos, de personas con daños cerebrales y otras patologías.* Los investigadores observan detenidamente la conducta de las personas con daño cerebral o con otras patologías mentales, como la esquizofrenia o la dislexia. También examinan su cerebro una vez que han muerto, para identificar las áreas cerebrales que han sufrido daño o que presentan determinadas anormalidades. Si la carencia de determinadas capacidades se asocia sistemáticamente con ciertas anormalidades cerebrales, entonces los investigadores suelen concluir que las áreas cerebrales afectadas desempeñan un papel crucial en esas capacidades perdidas.
- *Registro eléctrico.* Los investigadores también pueden colocar electrodos en lugares estratégicos del cuero cabelludo de una persona y registrar los patrones de actividad eléctrica de su cerebro. El resultado de este registro, que recibe el nombre de electroencefalograma (EEG), tiende a mostrar diferentes patrones de ondas cerebrales relacionados con distintas actividades (por ejemplo, el sueño frente a la vigilia). Con frecuencia, los investigadores recogen datos electroencefalográficos mientras las personas realizan determinadas tareas, obteniendo *potenciales evocados* (PE) que proporcionan indicaciones de la naturaleza de la actividad cerebral que tiene lugar durante esas tareas. En un estudio reciente (Farwell y Smith, 2001), se utilizó un procedimiento electroencefalográfico denominado *memoria y codificación de respuestas electroencefalográficas polifacéticas relacionadas,* lo que les permitía determinar, con un nivel de probabilidad superior al 90%, qué sujetos habían experimentado o no, determinados acontecimientos.
- *Neuroimagen.* Mediante la utilización de una serie de avances tecnológicos muy recientes, los investigadores registran imágenes del flujo sanguíneo o de los índices metabólicos en diversas partes del cerebro mientras las personas realizan actividades específicas. Las técnicas más comunes son la tomografía por emisión de positrones (TEP), la tomografía por emisión de un único fotón, la tomografía axial computerizada (TAC), la resonancia magnética (RM) y la resonancia magnética funcional. Supuestamente, las zonas del cerebro con mayor aporte sanguíneo o con mayor funcionamiento metabólico deberían ser aquéllas que contribuyen de manera más importante a la tarea que se está realizando.

Ninguno de estos métodos es perfecto. Por ejemplo, los daños cerebrales pueden afectar de manera simultánea a múltiples zonas del cerebro, las ratas de laboratorio carecen de muchas de las capacidades cognitivas que poseen los humanos, el electroencefalograma no nos puede decir en qué lugar concreto están teniendo lugar los procesos de pensamiento; y la neuroimagen todavía es excesivamente cara para un diagnóstico corriente, y por lo tanto suele estar limitada a la investigación básica (Byrnes, 2001). Sin embargo, estas técnicas están contribuyendo a identificar y a comprender algunas de las piezas del rompecabezas del funcionamiento cerebral humano.

Partes del cerebro

El cerebro humano tiene tres componentes principales (véase la figura 2.2) que han aparecido en diferentes momentos de nuestro viaje evolutivo. El cerebro inferior, localizado en la parte inferior del cerebro, donde la médula espinal penetra en el cráneo, fue el primero que apareció en la evolución humana y, también, el primero que aparece en el desarrollo prenatal. Está compuesto de

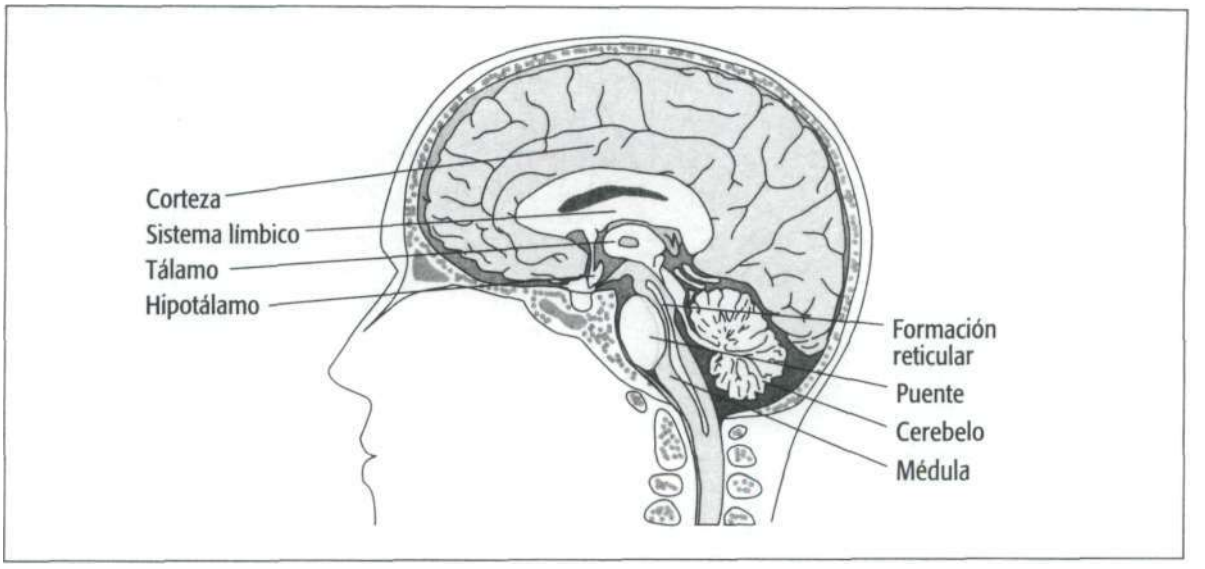

Figura 2.2 *Zonas fundamentales del cerebro. La imagen muestra una sección longitudinal del cerebro, por lo que no se aprecia el lado izquierdo ni el derecho del cerebro.*

pequeñas estructuras, como la médula, el puente y el cerebelo, y está implicado en muchos procesos fisiológicos básicos esenciales para nuestra supervivencia como respirar, tragar, dormir, el ritmo cardíaco, etc. El cerebelo está relacionado con el equilibrio y otras conductas motoras complejas como andar y montar en bicicleta, o jugar al tenis.

Lo siguiente que apareció, tanto en nuestro desarrollo filogenético como en el prenatal, es el **cerebro medio,** que desempeña papeles de apoyo a la visión y la audición, por ejemplo, contribuyendo a la coordinación de los movimientos oculares. Seguramente la parte más importante del cerebro medio sea la **formación reticular** (también denominada *de activación reticular),* que se extiende también al cerebro inferior. La formación reticular es vital para la atención y la conciencia; por ejemplo nos avisa de la presencia de estímulos potencialmente importantes.

El último en llegar fue el **cerebro superior,** que está localizado en las zonas frontales y superiores del cerebro. Aquí es donde se ubica la mayor parte de la «acción» en los primates y, especialmente, en los seres humanos. Por encima de éste, como si fuera un delgado bisoñé, está la **corteza cerebral,** que suele denominarse simplemente **corteza,** y que se divide en dos mitades **(hemisferios),** las cuales, en su superficie, parecen imágenes especulares una de la otra. Los neurólogos dividen estos hemisferios en cuatro zonas principales o *lóbulos,* que se denominan igual que las partes del cráneo sobre las que están situadas (véase la figura 2.3):

- *Lóbulos frontales.* Están localizados en la parte frontal y superior de la corteza y es el lugar donde tiene lugar la mayor parte de nuestro pensamiento consciente. Son los responsables de diversas actividades tan «humanas» como el lenguaje, la atención, el razonamiento, la planificación, el establecimiento de objetivos, el autocontrol, la toma decisiones, los juicios, las estrategias de aprendizaje, los movimientos controlados o la interpretación de la conducta de los temas. Por otra parte, permiten la inhibición de pensamientos y acciones irrelevantes e inapropiadas (yo sospecho que la enfermedad de Amable tenía mucha relación con un mal funcionamiento de sus lóbulos frontales).

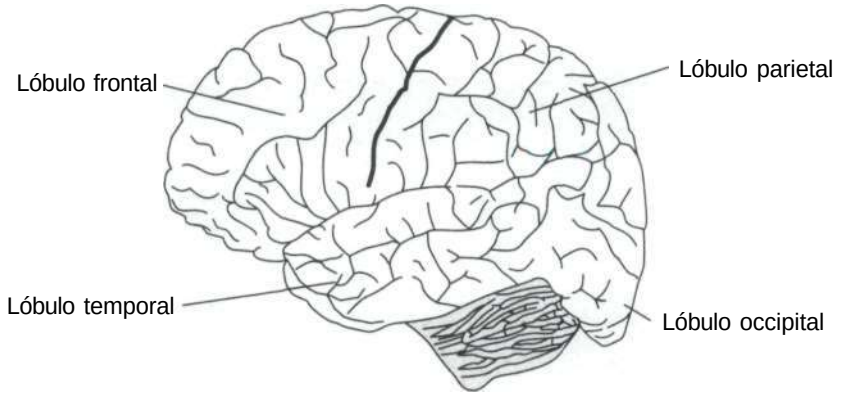

Figura 2.3 *Vista lateral de la corteza.*

- *Lóbulos parietales.* Están localizados en la parte superior y posterior de la corteza y su papel es el de recibir e interpretar información somatosensorial, esto es, datos sobre la temperatura, la presión, la textura y el dolor. También tienen mucho que ver con la capacidad de prestar atención, el procesamiento de los sonidos de las palabras y el análisis de las características espaciales de los objetos y de las situaciones.
- *Lóbulos occipitales.* Están localizados en la parte posterior del cerebro y su principal responsabilidad es la de interpretar y recordar la información visual.
- *Lóbulos temporales.* Están situados lateralmente, detrás de las orejas, y se dedican a interpretar y recordar información auditiva compleja, como el habla o la música. También desempeñan un importante papel en el recuerdo perdurable de la información, que suele denominarse *memoria a largo plazo,* especialmente por lo que se refiere al significado y al conocimiento general de las palabras.

En ocasiones, los investigadores han sido capaces de adjudicar ciertos tipos de procesamiento a regiones muy específicas de la corteza. Sin embargo, la mayoría de las zonas de la corteza cerebral no están especializadas de una manera tan clara. Estas zonas, conocidas como *áreas de asociación,* parecen servir para integrar información que proviene de diferentes partes de la corteza, así como de otras partes del cerebro, y resultan esenciales para el pensamiento y la conducta compleja.

Por debajo de la corteza podemos encontrar otras partes del cerebro superior. Algunas especialmente importantes son las siguientes:

- *Sistema límbico.* Muy estrechamente conectado con los lóbulos temporales hay un conjunto de estructuras que resulta esencial para aprendizaje, la memoria, la emoción y la motivación. El hipocampo es una pequeña estructura con forma de caballito de mar que está profundamente implicado en la atención y el aprendizaje, especialmente en aquellas cosas que aprendemos de manera consciente. Hay otra estructura, la *amígdala,* que desempeña un papel destacado en las emociones (especialmente en las negativas, como el miedo, el estrés, la angustia y la depresión), así como en las reacciones emocionales automáticas como la agresión. Es más, la amígdala nos permite asociar determinadas emociones con estímulos o recuerdos específicos (Adolphs y Damasion, 2001; Byrnes, 2001; Cahill y otros, 1996).

- *Tálamo.* El tálamo, localizado en el centro del cerebro, actúa como un interruptor que recibe la información entrante desde las diferentes neuronas sensoriales y la envía a las áreas apropiadas de la corteza. También desempeña un papel en la activación, la atención y el miedo.
- ***Hipotálamo.*** Localizado debajo del tálamo, regula muchas actividades relacionadas con la supervivencia, como la respiración, la temperatura corporal, el hambre y la sed, el apareamiento, la lucha y la evitación del daño.

El hemisferio izquierdo y el derecho

En cierta medida, ambos hemisferios tienen diferentes especialidades. El izquierdo es el principal responsable de controlar el lado derecho del cuerpo, y viceversa. Para la mayor parte de las personas, el hemisferio izquierdo es el principal responsable del lenguaje, con determinadas áreas del lóbulo frontal conocidas como el área de Broca y el área de Wernicke, que están dedicadas a la producción y comprensión del lenguaje respectivamente. Las capacidades de lectura y de cálculo matemático también parecen estar muy vinculadas al hemisferio izquierdo (Byrnes, 2001; Roberts y Kraft, 1987). Por el contrario, el hemisferio derecho está más dedicado al procesamiento visual y espacial como, por ejemplo, la localización de objetos en el espacio, la percepción de la forma, la comparación de cantidades, el dibujo y la pintura, la manipulación mental de imágenes visuales, el reconocimiento de rostros y de expresiones faciales o la interpretación de gestos (Byrnes, 2001; Ornstein, 1997). En general, el lado izquierdo está más adaptado a la manipulación de los detalles, mientras que la parte derecha está especializada en la búsqueda y la síntesis de la globalidad (Ornstein, 1997).

Al contrario de lo que establece la mitología popular, la gente nunca utiliza exclusivamente un hemisferio; no existe algo parecido a un pensamiento de «cerebro izquierdo» o de «cerebro derecho». Los dos hemisferios están unidos por un conjunto de neuronas *(el cuerpo calloso)* que permite una comunicación constante, de manera que los hemisferios colaboran en la resolución de las tareas cotidianas. Tomemos como ejemplo la comprensión del lenguaje. El hemisferio izquierdo maneja aspectos básicos como la sintaxis o el significado de las palabras, pero parece interpretar lo que oye y lo que lee de manera excesivamente literal. El hemisferio derecho es más capaz de considerar significados múltiples y de tener en cuenta el contexto, por lo que es más apropiado para detectar el sarcasmo, la ironía, las metáforas y los juegos de palabras (Beeman y Chiarello, 1998; Ornstein, 1997). Si no tuviéramos un hemisferio derecho no podríamos encontrarle la gracia a este chiste:

Un marinero que está en un barco le pregunta a otro:
¿donde esta el capitán?
A lo que éste responde: «por babor»
Y de nuevo insiste el primero,
«por babor», ¿donde esta el capitán?

Alrededor del 80% de los seres humanos tiene un hemisferio izquierdo y un hemisferio derecho que están especializados de la manera que hemos descrito. Por ejemplo, el hemisferio izquierdo de más del 90% de las personas diestras está especializado en el lenguaje, pero eso sólo puede decirse del 60% de las personas zurdas. Por otra parte, las personas nos diferenciamos en lo «lateralizado»

que está nuestro pensamiento: mientras que algunos confían preferentemente más en un hemisferio que en otro (dependiendo de las circunstancias), otros piensan generalmente de una forma más equilibrada, utilizando ambos hemisferios (Ornstein, 1997).

Como se puede observar, las funciones de algunas áreas del cerebro (especialmente las de la corteza) no son inalterables. En ocasiones, un área puede adoptar una función que suele estar reservada a otra distinta. Por ejemplo, si antes de cumplir un año los niños sufren un daño en el hemisferio izquierdo (quizá por una intervención quirúrgica para solucionar un problema epiléptico), el hemisferio derecho entra en acción y permite a esos niños adquirir capacidades lingüísticas normales (Beeman y Chiarello, 1998; Stiles y Thal, 1993). En cierta medida, qué zonas de la corteza manipulan determinados tipos de información depende de qué mensajes de las neuronas sensoriales lleguen a esas áreas; si una intervención quirúrgica reorganiza la manera en que se transmiten esos mensajes, la corteza se acomoda a ese cambio (Byrnes, 2001). Es más, diferentes zonas de la corteza pueden adoptar diferentes papeles como resultado de qué estímulos y tareas específicas sean las que se activen en el momento preciso en que una zona determinada de la corteza está madurando (Ornstein, 1997).

Interconexión de las estructuras cerebrales

Como usted habrá observado en nuestra aplicación de las estructuras cerebrales, muchos aspectos de nuestro funcionamiento cotidiano, como la atención, la memoria, el aprendizaje o las habilidades motoras dependen de múltiples zonas del cerebro. Hemos visto que los dos hemisferios suelen trabajar unidos para comprender y responder al entorno. Recuérdese que cualquier neurona puede establecer cientos de sinapsis con otras neuronas. A medida que la información viaja a través del cerebro, los mensajes pueden ir en cualquier dirección, y no sólo «de abajo arriba» (por ejemplo, cuando los mensajes sensoriales llegan al cerebro), o «de arriba abajo» (como cuando se interpreta la información o se controlan las conductas), sino que también pueden atravesar zonas destinadas a controlar modalidades sensoriales y funciones motrices muy diferentes. En esencia, aprender o pensar sobre cualquier asunto tiende a ocurrir de una manera *distribuida* entre distintas zonas del cerebro (Bresler, 2002; Thelen y Smith, 1998). Una tarea tan aparentemente simple como identificar una palabra mientras se está leyendo un libro o se está oyendo hablar, activa múltiples zonas de la corteza (Byrnes, 2001; Rayner, Foorman, Perfetti, Pesetsky y Seidenberg, 2001).

De hecho, incluso cualquier fragmento de información, por ejemplo, recordar una dirección, un número de teléfono o un cumpleaños, se almacena en la mente de una manera distribuida. En los años veinte, Karl Lashley (1929) utilizó ratas para determinar dónde se localizaba la memoria. Lashley enseñaba a las ratas a recorrer un laberinto y entonces seccionaba determinadas zonas de su cerebro para comprobar si las ratas seguian recordando el camino. Sea cual fuere la zona del cerebro eliminada, las ratas no llegaron a olvidar por completo el recorrido del laberinto; por el contrario, mostraban un olvido gradual a medida que se eliminaban porciones cada vez mayores de su cerebro. Parecía como si las ratas recordasen el laberinto utilizando simultáneamente múltiples territorios de su cerebro, de manera que cada una de esas zonas contribuía al recuerdo global.

¿Cómo empezó a existir un mecanismo tan complejo e interconectado como el cerebro humano? La mano de la madre naturaleza es realmente maravillosa. Describiremos a continuación cómo aparece el cerebro y cómo evoluciona a lo largo del tiempo.

DESARROLLO DEL CEREBRO

Otro mito muy difundido sobre el cerebro es que su maduración se produce durante los primeros años de vida, de manera que debe promoverse su desarrollo bombardeándolo con la mayor cantidad posible de estimulación (lectura, lecciones de violín, idiomas, etc.), antes de que su poseedor comience la escuela infantil. Nada más lejos de la realidad. Aunque una gran cantidad del desarrollo cerebral se produce antes del nacimiento y durante los primeros años de vida, el cerebro continua desarrollándose a lo largo de la niñez y de la adolescencia, y probablemente, también durante la vida adulta. Los primeros años de vida son importantes, pero el tipo de experiencia que desarrolla el cerebro suele ser muy normal. En este apartado describiremos el desarrollo del cerebro durante los meses de embarazo y durante los años posteriores, y observaremos qué factores influyen en el mismo. Intentaremos, entonces, responder a las preguntas que han planteado los investigadores: ¿existen períodos críticos en el desarrollo del cerebro? ¿Está el cerebro «predispuesto» para conocer o a aprender determinadas cosas? Enseguida descubrirá que los teóricos han intentado responder a la primera pregunta, pero todavía están pugnando por comprender la segunda.

Desarrollo prenatal

Aproximadamente unos 25 días después de que se haya producido la concepción, aparece por primera vez el cerebro con la forma de un diminuto tubo. Ese tubo se va haciendo más largo y empieza a colapsarse en diferentes secciones (Rayport, 1992). Aparecen tres cámaras, que se convertirán eventualmente en el cerebro superior, el medio y el inferior. Rápidamente se forman las neuronas, que se reproducen en la parte interior del tubo; entre la semana 15 y la 20 del desarrollo prenatal, las neuronas se reproducen al sorprendente ritmo de entre 50.000 a 100.000 nuevas células por segundo (Diamond y Hopson, 1998). En este momento se forma la gran mayoría (aunque aparentemente no todas) de las neuronas que una persona tendrá en toda su vida (Bruer, 1999; R. A. Thompson y Nelson, 2001).

Durante el segundo trimestre del desarrollo prenatal las neuronas se desplazan a diferentes lugares, inmersas en diferentes sustancias químicas y sustentadas por las células gliares. Cuando llegan, envían dendritas y axones que las conectan con otras neuronas. Las que establecen contactos sobreviven y empiezan a adoptar funciones específicas, mientras que las demás (más o menos la mitad) suelen morir (Diamond y Hopson, 1998; Goldman-Rakic, 1986; Huttenlocher, 1993). Sin embargo, esas muertes no son lúgubres, ya que aparentemente la madre naturaleza ha programado al cuerpo humano para producir un exceso de neuronas que asegure que el cerebro podrá funcionar con normalidad. Las neuronas excedentes son innecesarias y pueden eliminarse sin peligro.

Desarrollo durante la infancia y la niñez temprana

En el momento de nacer, el cerebro humano supone una cuarta parte del tamaño adulto, pero hacia los tres años, ya habrá alcanzado tres cuartas partes de su tamaño adulto (Johnson y de Haan, 2001; Kolb y Whishaw, 1990). La corteza cerebral es la parte menos madura del cerebro en el momento de nacer, de manera que los cambios que se producen en la misma durante la infancia y la niñez temprana probablemente expliquen la mayoría de los progresos que podemos observar en el razonamiento y el pensamiento de los niños (Quartz y Sejnowski 1997; Siegler, 1998).

Durante estos primeros años hay tres procesos principales que definen el desarrollo cerebral: sinaptogénesis, poda sináptica y mielinación.

Sinaptogénesis

Las neuronas empiezan a establecer sinapsis antes del nacimiento. Pero, inmediatamente después de nacer, el ritmo de establecimiento de sinapsis se incrementa de manera espectacular. Las neuronas lanzan nuevas dendritas hacia cualquier parte para entrar en contacto con un gran número de vecinas. Merced a este proceso, los niños tienen más sinapsis que los adultos (Bruer, 1999; Byrnes, 2001). Eventualmente, esta rápida proliferación de sinapsis se detiene. El momento en que se produce esta pausa depende de la zona del cerebro de que se trate; por ejemplo, las sinapsis alcanzan su apogeo en la corteza auditiva (lóbulos temporales) alrededor de los tres meses, en la corteza visual (lóbulos occipitales) alrededor de los doce meses, y en los lóbulos frontales, hacia los dos o tres años (Bruer, 1999; Huttenlocher, 1979, 1990).

Poda sináptica

A medida que los niños encuentran una amplia variedad de estímulos y de experiencias en su vida cotidiana, establecen algunas sinapsis que se utilizan frecuentemente. Sin embargo, hay otras sinapsis que son inútiles e irrelevantes, y que por ello van desapareciendo gradualmente. De hecho, el sistema parece estar diseñado para *garantizar* que tenga lugar esta **poda sináptica.** Las neuronas requieren sustancias químicas que se conocen *como factores tróficos* para su supervivencia y bienestar, y al transmitir mensajes a otras neuronas las inducen a segregar tales sustancias. Si las neuronas reciben sistemáticamente factores tróficos procedentes de la misma fuente, entonces establecen sinapsis estables con la misma. Si reciben factores tróficos de algunas neuronas pero no de otras, retiran sus axones de aquellas que «no las apoyan». Y, si las neuronas son tan poco estimulantes que apenas excitan a sus vecinas, entonces se marchitan y mueren (Byrnes, 2001). En algunas zonas del cerebro, el período intenso de poda sináptica ocurre muy pronto, mientras que en otras zonas empieza más tardíamente y se prolongará hasta bien entrada la adolescencia (Bruer, 1999; Huttenlocher y Dabholkar, 1997; Johnson y De Haan, 2001).

¿Por qué nuestros cerebros crean tantas sinapsis, si las van a eliminar posteriormente? Cuando hablamos de sinapsis, «más» no significa que sea «mejor» (Byrnes 2001). Los teóricos suponen que al generar más sinapsis de las que se necesitan, somos más capaces de adaptarnos a una amplia variedad de condiciones y circunstancias. A medida que encontramos regularidades en nuestro entorno, descubrimos que algunas conexiones sinápticas no tienen sentido ya que no responden al entorno o a nuestras necesidades. De hecho, un aprendizaje y una conducta eficaces exigen no sólo que pensemos y hagamos ciertas cosas, sino también que *no* pensemos o hagamos otras cosas; en otras palabras, que seamos capaces de inhibir ciertos pensamientos y acciones (Dempster, 1992; Haier, 2001). Por lo tanto, la poda sináptica es la forma en que nuestros cerebros se tornan más eficaces con la experiencia.

Mielinación

Como se dijo antes, el axón de una neurona suele estar cubierto por una capa de mielina que acelera de una manera importante la velocidad con que se transmite el impulso eléctrico. Cuando las neuronas empiezan a desarrollarse no tienen mielina; esta sustancia se produce posteriormente, cortesía de las células gliares. El proceso de recubrir los axones, se denomina **mielinación** y se produce gradualmente a lo largo del tiempo. En ocasiones, la mielinación comienza hacia el final del período prenatal, sobre todo en ciertas áreas básicas para la supervivencia, pero la mayor parte de la

misma tiene lugar durante los primeros años después del nacimiento, y además, siguiendo una secuencia predecible (Diamond y Hobson, 1998). Este proceso explica una considerable proporción del incremento del tamaño del cerebro (Byrnes, 2001). Sin duda, también estimula la capacidad del cerebro para responder al entorno de una manera más rápida y eficiente.

Desarrollo durante la niñez media, la adolescencia y la edad adulta

La poda sináptica continúa durante la niñez media y la adolescencia, sobre todo en la corteza, mientras que la mielinación se sigue produciendo incluso durante la década de los veinte (Johnson y De Haan, 2001; Merzenich, 2001; Paus y otros, 1999). Desde la niñez media hasta el final de la adolescencia o, incluso, la edad adulta, diversas partes del cerebro, principalmente los lóbulos frontales y temporales, el hipocampo, la amígdala y el cuerpo calloso, todos los cuales desempeñan un papel crucial para el pensamiento y el aprendizaje, incrementan de manera importante su tamaño (Giedd y otros, 1999a; Sowell y Jernigan, 1998; Walker, 2002). Los lóbulos frontales muestran evidencias de una maduración considerable durante el final de la adolescencia y el principio de la edad adulta, lo que posiblemente permita una mejora de la atención, la planificación y el control de los impulsos (Pribram, 1997; Sowell, Thompson, Holmes, Jernigan y Toga, 1999).

Cuando los niños alcanzan la pubertad, experimentan cambios en sus niveles hormonales (estrógenos, testosterona) que afectan a la maduración de las estructuras cerebrales y, probablemente, a la producción y la eficacia de los neurotransmisores (Achenbach, 1974; Eisenberg, Martin y Fabes, 1996; Walker, 2002). En cualquier caso, parece que los niveles de algunos neurotransmisores cambian en la pubertad; por ejemplo, disminuye la adrenalina y aumenta la dopamina en algunas zonas de la corteza (Walker, 2002). En este momento, si una determinada hormona o neurotransmisor es anormalmente alto o bajo, puede ocurrir una distorsión importante en el funcionamiento cerebral.

Recuérdese que los síntomas de Amable, inapreciables durante sus primeros años de vida, se intensificaron cuando se hizo mayor. En la mayoría de los casos, el trastorno bipolar y la esquizofrenia no aparecen hasta la adolescencia y la edad adulta. Estos trastornos parecen estar causados, al menos en parte, por estructuras dañadas o niveles anormales de neurotransmisores que no hacen su aparición hasta una vez pasada la pubertad (Carlson, 1999; Giedd y otros, 1999b; Jacobsen y otros, 1997a, 1997b).

Factores que influyen en el desarrollo del cerebro

Ciertamente la herencia desempeña un papel en el desarrollo del cerebro. Por ejemplo, las instrucciones genéticas guían procesos como la migración celular, la sinaptogénesis y la mielinación (Bruer, 1999). La herencia asegura que las cosas funcionarán adecuadamente y que el cerebro continuará creciendo y reestructurándose a sí mismo. Sin embargo, en ocasiones, algunas instrucciones defectuosas pueden complicar las cosas. Por ejemplo, los gemelos idénticos (gemelos que comenzaron a partir de un único óvulo que luego se dividió en dos y por lo tanto tienen el mismo ADN), tienen una probabilidad superior a la media de compartir trastornos como la esquizofrenia y la dislexia (Byrnes, 2001; Conklin y Iacono, 2002). Los niños con síndrome de Down, que tienen un cromosoma extra en el par veintiuno, disponen de menos neuronas, menos mielina y menos sinapsis (Byrnes, 2001).

Sin embargo, los efectos ambientales también ejercen su efecto. La malnutrición severa es más problemática durante el desarrollo prenatal, y produce una disminución de neuronas y de células gliares (Byrnes, 2001). Tras el nacimiento, la malnutrición impide el desarrollo celular, la mielinación, y afecta a todas las medidas de desarrollo cognitivo (por ejemplo, los tests de inteligencia), si bien el efecto de una desnutrición breve puede eliminarse con una dieta adecuada (Byrnes, 2001; Sigman y Whaley, 1998). Sin embargo, proporcionar vitaminas, minerales y otros suplementos alimenticios apenas surte efecto una vez que se dispone de una dieta adecuada (Zigler y Hodapp, 1986)[2].

También son trascendentales algunos factores tóxicos. Cuando las futuras madres consumen cantidades importantes de alcohol durante el embarazo, sus hijos suelen mostrar el *síndrome de alcohol fetal,* que se caracteriza por rasgos faciales específicos, una coordinación motriz muy pobre, retrasos en el lenguaje y retraso mental (Dorris, 1989). La ingestión de cantidades excesivas de plomo (quizá procedente de la pintura de edificios antiguos) puede provocar deficiencias en las capacidades cognitivas (Byrnes, 2001; McLoyd, 1998). La exposición a la radiación durante el período de la rápida producción neuronal durante los primeros meses del desarrollo prenatal produce retraso mental, aunque tiene un efecto menor después de este momento (Goldman-Rakic, 1986).

El desarrollo cerebral también está influido por las oportunidades de aprendizaje. Cuando las ratas aprenden a deambular por un laberinto complejo, desarrollan sinapsis más numerosas y fuertes en algunas partes importantes de su corteza cerebral (Black, Isaacs, Anderson, Alcántara y Greenough, 1990; Greenough, Juraska y Volkmar, 1979; Klein y otros, 1998). Las personas que han aprendido a leer y a escribir tienen en su cuerpo calloso una delgada banda de fibras que conecta sus lóbulos parietales (Castro-Caldas y otros, 1999). Aquéllos que aprenden a tocar un instrumento musical muestran patrones de organización en su cerebro que son diferentes de aquellas personas que no tocan música (Elbert, Pantev y Taub, 1995). Las intervenciones conductuales sobre trastornos congénitos o adquiridos (dislexia, daño cerebral, ablación de ciertas partes del cerebro) conducen a reorganizaciones de la estructura cerebral o a cambios en los patrones de activación cerebral (Bach-y-Rita, 1981; Crill y Raichle, 1982; Small, Flores y Noll, 1998). En la medida en que el cerebro se adapta a diferentes circunstancias y experiencias, hablamos de que tiene una determinada **plasticidad.**

¿En qué medida existen períodos críticos en el desarrollo del cerebro?

Volvamos a considerar un factor que acabamos de mencionar: la radiación tiene un impacto importante sobre el desarrollo del cerebro *sólo* durante los primeros meses del período prenatal. Y tengamos en cuenta esta intrigante observación: aquellos músicos que empezaron a aprender a tocar un instrumento antes de los diez años de edad, muestran una mayor activación en ciertas partes del cerebro que aquéllos que empezaron a aprender siendo más mayores (Elbert y otros, 1995). No es que los primeros toquen mejor que los segundos, sino que el patrón de activación cerebral es diferente para ambos grupos.

Tales resultados traen a colación una cuestión importante: ¿hasta qué punto el *momento* en que se produce la instrucción o la intervención ocasiona diferencias en el desarrollo del cerebro? Más

[2] Para una revisión de investigación sobre los posibles efectos de los suplementos alimenticios sobre el aprendizaje y la memoria en adultos, véase McDaniel, Maier y Einstein, 2002.

específicamente, ¿en qué medida existen períodos críticos —ciertos rangos de edad durante los cuales los estímulos ambientales ejercen su mayor, por no decir su impacto en exclusiva— sobre el desarrollo del cerebro?[3].

Los investigadores han encontrado de manera sistemática evidencias de la existencia de períodos críticos en el desarrollo de la percepción visual. Si un gato tiene un ojo tapado durante sus primeros tres meses de vida, se vuelve funcionalmente ciego de ese ojo durante el resto de su vida. Esto es, el ojo funciona, pero la parte de la corteza que recibe las señales de ese ojo no es capaz de interpretar esa información (Hubel y Wiesel, 1970). Algo parecido ocurre con los monos, aunque éstos no sufren una pérdida permanente de visión si la oclusión del ojo se produce durante la edad adulta (Bruer, 1999; Hubel, Wiesel y Levay, 1977; Levay, Wiesel y Hubel, 1980). Asimismo, cuando los seres humanos nacen con cataratas que impiden una visión normal, resulta esencial eliminarlas quirúrgicamente. Si la intervención se produce antes de los dos años, los niños desarrollan una visión relativamente normal, pero si esta intervención se pospone más allá de los cinco años, los niños adquieren una ceguera funcional en el ojo afectado de cataratas (Bruer, 1999). Es curioso que parezca ser el *patrón* de privación luminosa y no la privación luminosa en sí misma lo que afecta el desarrollo de las áreas visuales de la corteza; en efecto, cuando los monos tienen tapados *ambos* ojos durante los primeros seis meses, desarrollan una visión normal (Bruer, 1999; Hubel, Wiesel y Levay, 1977; Levay, Wiesel y Hubel, 1980). Así pues, parece que si durante los primeros meses de vida se estimula un ojo más que otro, la corteza se reestructura para aprovechar la información del ojo que puede ver y compensar, así, la información que no obtiene del ojo ciego.

En los seres humanos hemos encontrado evidencias de que existen períodos críticos también en el lenguaje. Los niños que apenas han podido escuchar lenguaje durante sus primeros años de vida, suelen tener problemas para adquirirlo posteriormente (Curtiss, 1977; Newport, 1990). Es más, durante sus primeros días de vida, los niños son capaces de distinguir los sonidos que se usan en diferentes lenguas, pero hacia los seis meses de edad ya sólo son capaces de «oír» aquellos sonidos que son importantes para su propia lengua (Kuhl, Williams y Lacerda, 1992). Por ejemplo, el inglés considera la «1» y la «r» como dos sonidos distintos, mientras que el japonés los aglutina en un único sonido. Así pues, los niños que viven en zonas de habla inglesa continúan percibiendo la diferencia entre ellos, mientras que los niños japoneses pierden rápidamente la capacidad para diferenciarlos.

Otras evidencias de la existencia de períodos críticos en el desarrollo del lenguaje provienen de aquellas personas que aprenden una segunda lengua. Generalmente, la gente aprende a pronunciar correctamente los sonidos de esa lengua sólo si la aprenden durante los años preescolares o de primaria (Bialystok, 1994a; Collier, 1989; Flege, Munro y MacKay, 1995). Los niños también muestran una mayor facilidad para dominar los tiempos verbales y otros aspectos complicados de la sintaxis cuando aprenden la lengua durante los primeros cinco o diez años de vida (Bialystok, 1994a, 1994b; Johnson y Newport, 1989). Los efectos de la edad sobre el aprendizaje del lenguaje son especialmente notables cuando la segunda lengua es muy diferente de la primera en sus aspectos fonológicos y sintácticos (Bialystok, 1994 a; Strozer, 1994).

Si bien es posible encontrar evidencias de períodos críticos en la percepción visual y en el lenguaje, la mayoría de los teóricos muestra serias dudas de que existan períodos críticos en *todos* los

[3] Muchos psicólogos evolutivos prefieren utilizar el término **periodos** sensibles, que tiene connotaciones más flexibles. Sin embargo, yo he observado que en la bibliografía más reciente sobre el desarrollo del cerebro se utiliza con más frecuencia el término **período** crítico y por eso lo utilizo aquí.

dominios del conocimiento. Con frecuencia, muchas personas se convierten en expertas en el manejo de asuntos o habilidades que no empezaron a aprender hasta su adolescencia o edad adulta.

Desarrollo previsible *versus* dependiente de la experiencia

¿Cuándo resulta importante la experiencia y cuando *no* lo es? Greenough, Black y Wallace (1987) han establecido una distinción que puede contribuir a comprender datos aparentemente conflictivos. Se diría que la madre naturaleza ha diseñado nuestro cerebro para que nos adaptemos a los diferentes contextos físicos y culturales en que podamos encontrarnos, aunque partiendo de la base de que cierto tipo de estímulos serán determinantes para configurar su desarrollo. Respecto a aquellas capacidades que los seres humanos poseen desde hace milenios, como la percepción visual o el lenguaje, el desarrollo del cerebro es **previsible:** esto es, utiliza las experiencias que puede encontrar en cualquier entorno para potenciar su capacidad. Por ejemplo, aunque el cerebro es capaz de interpretar las señales visuales procedentes de ambos ojos, se reestructurará a sí mismo para compensar un ojo que no ve. Y aunque viene equipado con lo que necesita para discriminar entre diferentes sonidos de habla, aprende rápidamente a ignorar diferencias sutiles que resultan irrelevantes para comprender su lenguaje natal, abonando el terreno para poder realizar distinciones más eficaces entre aquellos sonidos que sí son importantes para la comprensión del lenguaje. Es incluso posible que los fenómenos de la sinaptogénesis y la poda sináptica proporcionen el mecanismo mediante el cual el cerebro se configura para acomodarse a una amplia variedad de entornos y comenzar a partir de cero en el entorno específico en el que se encuentre (Bruer, 1999).

Muchas otras habilidades, por ejemplo, la lectura, la música, conducir un coche, o jugar al tenis, están recién llegadas a la cultura humana (y además, ninguna aparece en *todas* las culturas), de manera que no ha habido tiempo para convertirlas en parte de nuestra herencia evolutiva (Bruer, 1997, 1999; Byrnes, 2001). Este tipo de capacidades que son exclusivas de culturas determinadas se denominan **dependientes de la experiencia:** aparecen sólo cuando las condiciones ambientales las promueven, y por lo tanto pueden adquirirse a cualquier edad. De hecho, al fortalecer sinapsis débiles y establecer otras nuevas, los seres humanos y otros animales mantienen una considerable plasticidad dependiente de la experiencia a lo largo de su vida (Bruer, 1999; Greenough y otros, 1987; Merzenich, 2001; Merzenich, Allard y Jenkins, 1990). Por ejemplo, cuando mi suegra tenía 85 años se mudó desde Arizona hasta New Hampshire para poder vivir cerca de nosotros. Aprendió con facilidad lo que necesitaba para sobrevivir en su nueva comunidad: ir al banco, a la ferretería, a la peluquería y al supermercado, qué vecinos tenían intereses similares a los suyos, qué temas políticos estaban vigentes en el pueblo, y cosas por el estilo.

Pero volvamos a la pregunta inicial: ¿en qué medida existen períodos críticos en el desarrollo del cerebro? Se diría que existen períodos críticos para ciertas capacidades básicas como la percepción visual y el lenguaje. Sin embargo, incluso en esos dominios siempre permanecen abiertas posibilidades de cambio; por ejemplo, existen diferentes marcos temporales para el desarrollo de la visión del color, la percepción del movimiento, de la profundidad, de la discriminación de sonidos, de la pronunciación y de la adquisición de estructuras sintácticas (Bruer, 1999; Locke, 1993). Es más, las oportunidades no se cierran necesariamente a una edad determinada, sino que disminuyen gradualmente a lo largo de un período prolongado y, en algunos casos, permanecen abiertas durante mucho tiempo. Y respecto a adquisiciones complejas y culturalmente específicas, como la mayoría de los temas y habilidades que enseñamos en la escuela y en la universidad, esas oportunidades permanecen abiertas a lo largo de toda la edad adulta (Bruer 1999; Thompson y Nelson, 2001).

¿En qué medida está el cerebro «predispuesto» para conocer o aprender cosas?

Fijémonos una vez más en el lenguaje. Hablar y comprender el lenguaje supone un logro milagroso: los niños no sólo deben dominar los sutiles movimientos motrices que requieren las vocales y las consonantes, sino también decenas de miles de significados de palabras, además de una serie de estructuras sintácticas tan numerosas y complicadas, que incluso los lingüistas son incapaces de identificar y catalogar. La forma en que los niños adquieren el lenguaje tan rápidamente, supone uno de los grandes misterios del desarrollo infantil. Muchos teóricos están convencidos de que aunque los niños evidentemente no nacen sabiendo un lenguaje, sí llegan al mundo predispuestos a adquirir cualquier lenguaje que escuchen a su alrededor (Cairns, 1996; Gopnik, 1997; Hirsh-Pasek y Golinkoff, 1996; Lenneberg, 1967; Lightfoot, 1999). Esta forma de considerar el aprendizaje del lenguaje, conocida como **innatismo**, está apoyada por tres fenómenos ampliamente observados. En primer lugar, el habla cotidiana no parece ser muy adecuada para promover en los niños la adquisición de un lenguaje tan complejo como el que realmente aprenden. Los adultos suelen utilizar frases incompletas, no aplican correctamente las reglas gramaticales y cuando se dirigen a los niños pequeños suelen utilizar un lenguaje excesivamente simple. En otras palabras, los niños escuchan un lenguaje muy pobre (Cook y Newson, 1996; Harris 1992; Lightfoot, 1999). En segundo lugar, para comunicarse con eficacia, los niños deben extraer una infinidad de reglas subyacentes que no están especificadas de manera explícita y a partir de ahí, utilizarlas para generar frases que nunca antes han escuchado (Chomsky, 1959, 1972; Littlewood, 1984; Pinker, 1993). En tercer lugar, todos los niños de una determinada comunidad lingüística aprenden esencialmente el mismo lenguaje a pesar de que tienen experiencias muy variadas, y de la ausencia de una enseñanza sistemática sobre cómo se usa apropiadamente el lenguaje (Cromer, 1993; Lightfoot, 1999; Littlewood, 1984).

Algunos teóricos han sugerido que los seres humanos podrían estar predispuestos también respecto a otros dominios. Considérense estos resultados obtenidos de la investigación con niños:

- Los niños con 24 horas de edad son capaces de distinguir objetos cercanos de objetos lejanos (Slater, Mattock y Brown, 1990). Actúan como si pudieran evaluar la distancia mucho antes de que hayan tenido oportunidad de aprender qué es la distancia.
- Los niños de uno o dos días de edad son capaces de imitar la expresión facial de un adulto, como fruncir las cejas, abrir la boca o sacar la lengua (Field, Woodson, Greenberg y Cohen, 1982; Meltzoff y Moore, 1977; Reissland, 1988). Actúan como si pudieran relacionar ciertas cosas que ven hacer a los demás con cosas que pueden hacer ellos mismos.
- Hacia las tres o cuatro meses, los niños muestran signos de sorpresa cuando un objeto sólido atraviesa otro objeto, cuando un objeto parece estar suspendido en el espacio o cuando un objeto parece moverse de manera súbita de un lugar a otro sin atravesar el espacio intermedio (Baillargeon, 1994; Spelke, 1994; Spelke, Breinlinger, Macomber y Jacobson, 1992). Se diría, por lo tanto, que los niños pequeños saben que los objetos son sustancias con límites definidos, que se caerán si nadie los sostiene, y que sus movimientos por el espacio tienen un carácter continuo.

Este tipo de resultados son utilizados por algunos teóricos (Flavell, Miller y Miller, 1900 1993; Spelke, 2000) para sugerir que los niños disponen de un **conocimiento básico** sobre el mundo físico. Este tipo de conocimiento tendría ventajas evolutivas y proporcionaría a los niños una posición ventajosa para empezar a aprender cosas de su entorno, tal y como se ha observado también en otras especies (Spelke, 2000).

No obstante, la medida en que el cerebro humano está dotado de conocimiento o predisposiciones para adquirirlo, es todavía un asunto no resuelto, y probablemente permanecerá así durante algún tiempo. A menos que los investigadores puedan evaluar el conocimiento infantil en el mismo momento del nacimiento, nunca podrá descartarse la posibilidad de que sea la experiencia la que explique esas precoces habilidades. Imagínese a un par de científicos con bata blanca apareciendo en la sala de partos del hospital para preguntar si pueden experimentar con un bebé. Es dudoso que encuentren a padres deseosos de permitírselo.

BASES FISIOLÓGICAS DEL APRENDIZAJE

¿Cómo se produce el aprendizaje desde un punto de vista fisiológico? Como he sugerido en la discusión sobre la plasticidad del cerebro, muchos teóricos consideran que las bases del aprendizaje radican en cambios que se producen en las interconexiones entre las neuronas, especialmente en el fortalecimiento de las sinapsis ya existentes y en la formación de otras nuevas (Byrnes y Fox, 1998; Greenough y otros, 1987; Merzenich, 2001; Rosenzweig, 1986). Pero, también puede estar implicado otro fenómeno. Hasta hace muy poco, estábamos convencidos de que todas las neuronas que una persona tendría a lo largo de su vida se producían durante las primeras semanas de la etapa prenatal. Sin embargo, algunos investigadores están encontrando que la **neurogénesis,** esto es, la formación de nuevas neuronas, continúa produciéndose a lo largo de toda la vida, al menos en una zona concreta del hipocampo, y posiblemente también en otras regiones de los lóbulos frontales y parietales (Gould, Beylin, Tanapat, Reeves y Shors, 1999; Sapolsky, 1999; R. A. Thompson y Nelson, 2001). La neurogénesis parece estar estimulada en parte por las nuevas experiencias de aprendizaje (Gould y otros, 1999); pero, todavía no sabemos qué papel desempeña en el proceso de aprendizaje.

Respecto a *dónde* se produce el aprendizaje, la respuesta es: en muchos sitios. Los lóbulos frontales se activan cuando necesitamos prestar atención y pensar en información y acontecimientos novedosos. A su vez, todos los lóbulos de la corteza se activan en mayor o menor medida para interpretar la nueva información a partir de un conocimiento previo (Byrnes, 2001). El hipocampo parece ser un elemento básico en el proceso de aprendizaje, coordinando la información que recibe de manera simultánea desde diferentes partes del cerebro (Bauer, 2002; Squire y Álvarez, 1998). Y su vecina del sistema límbico, la amígdala, probablemente resulte muy útil en los recuerdos preverbales y emocionales que construyen los niños pequeños (LeDoux, 1998).

Pero, incluso aunque los investigadores puedan decir cómo y dónde se produce el aprendizaje, debemos tener presente que nuestro conocimiento de la anatomía del cerebro todavía no puede decirnos todo lo que necesitamos saber sobre el aprendizaje, sobre todo en lo que se refiere a la mejor manera de mejorar el contexto educativo. Volvamos nuestra mirada, por tanto, hacia lo que nos puede decir la investigación del cerebro respecto a las prácticas educativas más apropiadas y eficaces.

IMPLICACIONES EDUCATIVAS DE LA INVESTIGACIÓN DEL CEREBRO

En su alabanza de los recientes avances de la investigación cerebral, algunas personas bienintencionadas pero mal informadas, han extraído inferencias gratuitas respecto a sus implicaciones educativas. Por ejemplo, es posible escuchar teorías sobre la «construcción de mejores cerebros»

mediante el diseño de un «currículum basado en el cerebro» o, también, «enseñar al cerebro derecho». Este tipo de afirmaciones suele reflejar ideas erróneas sobre la manera como funciona el cerebro. La investigación está todavía en pañales y gran parte de lo que han aprendido los investigadores sobre el funcionamiento del cerebro todavía tiene un carácter controvertido (Byrnes, 2001). Las que siguen son algunas de las conclusiones que podemos plantear con cierta seguridad:

- *Resulta inevitable, e incluso deseable, la pérdida de cierto número de* ***sinopsis.*** Aparentemente, en un esfuerzo por preservar tantas sinapsis como sea posible, algunos autores han sugerido que los niños deberían sumergirse en entornos muy ricamente estimulados, para que puedan tener ventajas en los aspectos académicos, deportivos y artísticos. Pero, como hemos visto, la poda sináptica resulta inevitable debido a que las sinapsis tienen que competir para obtener un aporte limitado de factores tróficos que aseguren su supervivencia. Es más, la poda resulta beneficiosa y no perjudicial, ya que elimina las sinapsis menos útiles, y por lo tanto optimiza la eficacia del cerebro. La secuencia de sinaptogénesis y de poda sináptica es el medio fundamental mediante el que la madre naturaleza asegura la plasticidad y adaptabilidad del funcionamiento humano (Bruer, 1999; Byrnes y Fox, 1998). De hecho, la mayor parte del aprendizaje y muchos avances en las capacidades cognitivas (por ejemplo, el razonamiento abstracto), tienen lugar una vez que se ha producido la mayor parte de la poda sináptica (Bruer, 1999).
- *Muchos entornos facilitan el desarrollo neurológico normal.* En aquellos dominios en los que el desarrollo depende de tipos especiales de estimulación (por ejemplo donde hay períodos críticos), la estimulación necesaria se puede encontrar en experiencias que los niños tienen a su disposición en cualquier parte y en cualquier cultura. Por ejemplo, para adquirir una visión binocular normal, los niños necesitan que ambos ojos reciban información. Para adquirir el lenguaje, los niños necesitan una exposición permanente al mismo, ya sea en su versión hablada o manual (Newport, 1990). Estas experiencias no sólo están presentes en contextos enriquecidos como el escolar, sino también en contextos deprimidos de las grandes ciudades, e incluso entre tribus aisladas de los países en desarrollo. Hasta la fecha no sabemos en qué medida las experiencias educativas intensas y estructuradas pueden llegar a promover un mayor desarrollo cerebral de lo que tendría lugar sin ellas (Bruer, 1999; R. A. Thompson y Nelson, 2001). No obstante, es necesario mencionar una advertencia importante: un período ***muy*** crítico es el periodo prenatal, especialmente los primeros meses después de la concepción, cuando una nutrición adecuada y la protección contra las radiaciones y otras agresiones ambientales resulta esencial para el desarrollo del cerebro. Los efectos nocivos de una mala nutrición y de otras agresiones ambientales durante este período de tiempo parecen resultar irreversibles.
- *Los primeros años de vida son importantes para el aprendizaje, pero también lo son los últimos años.* Si bien un entorno complejo no parece resultar esencial para el desarrollo *neurológico,* sí es cierto que los niños experimentan beneficios *cognitivos* cuando aprenden en programas escolares enriquecidos (Bronfenbrenner, 1999; Ramey, 1992; Seitz, Rosenbaum y Apfel, 1985; Zigler y Finn-Stevenson, 1987). Sin embargo, las ganancias que se obtienen en estos primeros años tienden a disminuir a lo largo del tiempo, e incluso pueden llegar a desaparecer, a menos que los niños continúen siendo estimulados durante los años escolares (Bronfenbrenner, 1999; Campbell y Ramey, 1995; Gustafsson y Undheim, 1996). Los educadores y los políticos no deberían poner todos los huevos en una misma cesta; la enseñanza y el aprendizaje del desarrollo cognitivo deberían constituir un objetivo a largo plazo (Brown y Bjorklund, 1998).

- *No existen cosas como la enseñanza para el «cerebro izquierdo» o para el «cerebro derecho».* Algunos autores han sugerido que muchos adultos y niños se especializan en utilizar más un hemisferio que otro, hasta el punto de que se convierten en aprendices «cerebralmente sesgados», por lo que piden a los educadores que sean capaces de acomodarse a las preferencias hemisféricas de cada estudiante. Está *dicotomía* no es más que «pseudociencia» que suele utilizarse para justificar un tipo de enseñanza no disciplinada y racional (Ornstein, 1997; Stanovich, 1998). Como hemos visto, ambos hemisferios trabajan en estrecha colaboración en prácticamente todas las tareas de aprendizaje y de pensamiento. A menos que se haya producido algún tipo de lobotomía quirúrgica (algo que yo personalmente no recomiendo), los intentos de entrenar exclusivamente a un hemisferio serán banales.
- En *aquellos aspectos evolutivos que se caracterizan por la existencia de períodos críticos, siempre permanece al menos una rendija abierta para nuevos aprendizajes.* El concepto de período crítico sólo nos dice cuál es el mejor momento para que se adquiera una capacidad, pero no necesariamente que sea el *único* momento. En ocasiones, y por diferentes razones, los niños no tienen oportunidad de recibir una estimulación apropiada durante el período óptimo de tiempo; por ejemplo, los niños que tienen una sordera congénita puede que no encuentren un lenguaje que puedan percibir, como el lenguaje de signos, hasta que no comienzan la escuela. En vez de lamentarse de lo que podía haber ocurrido pero no sucedió, los investigadores y los educadores harán mejor diseñando intervenciones que permitan a esas personas recuperar algo de lo que han perdido (Bruer, 1999).
- *La investigación sobre el cerebro puede ayudarnos a perfeccionar nuestras teorías sobre el aprendizaje* y *el conocimiento, pero nos puede decir bastante poco sobre que debemos enseñar o cuál es la mejor forma de hacerlo.* A medida que los investigadores siguen aprendiendo cada vez más sobre la arquitectura y el funcionamiento del cerebro, van encontrando evidencias que bien apoyan o rechazan diversas explicaciones psicológicas que se han propuesto sobre la manera en que las personas piensan y aprenden (Bruer, 1997; Byrnes, 2001). Y, a medida que los psicólogos perfeccionan sus propias teorías sobre el aprendizaje y el conocimiento, pueden obtener una mejor perspectiva del tipo de métodos educativos y de intervenciones terapéuticas que tendrán una mayor eficacia en el aprendizaje y en la conducta.

Sin embargo, probablemente nunca podamos reducir los fenómenos psicológicos como el pensamiento, el conocimiento, las interpretaciones, etc., a entidades y procesos fisiológicos. Por ejemplo, la investigación del cerebro probablemente no pueda proporcionar mucha información sobre qué capacidades son más importantes para las personas. Ese tipo de cosas depende de la cultura en la que se vive (Bloom y Tinker, 2001; Chalmers, 1996; Gardner, 2000). Y tampoco la investigación del cerebro puede proporcionarnos demasiadas pistas sobre la mejor manera de ayudar a los aprendices a adquirir las capacidades y la información que necesitan (Byrnes, 2001; Mayer, 1998). Afortunadamente, y como usted irá descubriendo en los capítulos que siguen, las teorías psicológicas del aprendizaje, que están derivadas de estudios de la conducta humana y no tanto de la fisiología y de la anatomía cerebral, sí tienen mucho que ofrecer a la hora de identificar técnicas educativas y terapéuticas eficaces.

RESUMEN

Los mensajes viajan a lo largo del sistema nervioso humano (que incluye el cerebro y la médula espinal) a través de *1)* transmisiones eléctricas que se realizan mediante las neuronas y *2)*

transmisiones químicas que atraviesan las sinapsis entre las neuronas. Las sinapsis de la médula espinal son las responsables de unos cuantos reflejos básicos, si bien el cerebro es el centro de coordinación y de toma decisiones de todo el cuerpo.

Mediante la utilización de un arsenal cada vez más nutrido de métodos de investigación (investigación con animales, estudios de casos con seres humanos, registros eléctricos en el cuero cabelludo y tecnología de neuroimagen), los científicos han aprendido mucho sobre la manera en que trabaja el cerebro. En los seres humanos, la zona del cerebro más grande y que ha evolucionado más recientemente, el cerebro superior, tiene el monopolio de la conciencia, el pensamiento, el aprendizaje y las distintas actividades «humanas» que realizamos las personas. Incluso, tareas muy pequeñas y aparentemente simples como reconocer y comprender una palabra, suelen implicar la participación coordinada de muchas partes del cerebro, lo que incluye el hemisferio izquierdo y el derecho.

El cerebro comienza a desarrollarse al final del primer mes del desarrollo prenatal; durante el segundo trimestre se han formado la gran mayoría de las neuronas que tendrá una persona y se encuentran migrando para ocupar el lugar en que desarrollarán su trabajo. La sinapsis entre las neuronas empieza establecerse antes del nacimiento; poco después de nacer, el ritmo de reproducción sináptica se incrementa de una manera espectacular hasta el punto que los niños llegan a tener más sinapsis que los adultos. A lo largo de la niñez y la adolescencia el cerebro va eliminando o podando las sinapsis que se usan poco, aparentemente como una manera de adaptarse al entorno y de aumentar su eficacia. Si bien la mayor parte del desarrollo cerebral se produce durante la etapa prenatal y los primeros años de la niñez, durante la adolescencia y la primera parte de la edad adulta continúan produciéndose algunos cambios en las estructuras cerebrales y en los neurotransmisores. Las instrucciones genéticas son, en gran medida, las principales responsables del curso del desarrollo neurológico, si bien la nutrición, las agresiones ambientales y las experiencias de aprendizaje también surten su efecto.

Los investigadores han encontrado evidencias de la existencia de *períodos críticos* en el desarrollo de algunas capacidades humanas básicas como la percepción visual y el lenguaje. Sin embargo, muchos logros humanos evolutivamente más recientes, como la literatura o las matemáticas, probablemente pueden adquirirse a cualquier edad; verdaderamente, la capacidad para establecer nuevas sinapsis (para *aprender)* se mantiene a lo largo de toda la vida. Algunos teóricos suponen que algunas capacidades y conocimientos esenciales para la supervivencia de la especie, como puede ser el lenguaje, podrían ser parte de una predisposición biológica.

Algunos educadores han extraído implicaciones indeseables a partir de la investigación del cerebro. Bien es cierto que los primeros años de vida son importantes, lo cual no significa que proporcionar programas estructurados e intensivos a los bebés y a los preescolares pueda prevenir la poda sináptica, mientras que los eventuales beneficios de tales programas están por demostrar. Es más, los intentos de enseñar al cerebro izquierdo o al derecho han resultado infructuosos ya que ambos hemisferios colaboran en cualquier tarea o actividad. Los educadores y los terapeutas deberían recordar que el aprendizaje y el dominio de tareas complejas se siguen produciendo a lo largo de toda la vida y que, de hecho, muchos avances cognitivos como el pensamiento abstracto no aparecen hasta el final de la niñez, la adolescencia o la edad adulta.