

¿Cómo estudiamos el cerebro?

Aquí ofrecemos sólo una breve muestra de los tipos de técnicas utilizadas para estudiar el cerebro. Si el lector quiere profundizar en la cuestión, puede acudir al apéndice del final del libro, en el que exploramos con detalle las distintas técnicas que se usan actualmente en las investigaciones cerebrales.

Actualmente, para estudiar el cerebro pueden utilizarse diversas herramientas. En los estudios de *electrofisiología* se toman registros de neuronas individuales del cerebro de animales mientras éstos llevan a cabo una determinada tarea. Esta técnica procura una medida directa de la actividad neuronal. La medición de la actividad neuronal en los seres humanos es difícil, y los estudios que toman registros de neuronas del cerebro humano (por ejemplo, durante una intervención quirúrgica a cráneo abierto) son muy infrecuentes. De todos modos, este tipo de estudios asombran por la profusión de detalles que revelan sobre recuerdos y acciones a los que se accede mediante el mero «contacto» de una determinada parte diminuta de la superficie del cerebro.

Por suerte, para evaluar la actividad eléctrica en los seres humanos existen diversos métodos no invasivos relacionados con la conducta de miles o millones de neuronas conectadas entre sí en regiones cerebrales concretas. La *electroencefalografía* (EEG) y la *magnetoencefalografía* (MEG) miden respectivamente la actividad eléctrica y magnética que se produce en el cerebro. Los registros se llevan a cabo mediante electrodos colocados en el cráneo.

El flujo sanguíneo es un indicador de la actividad cerebral y puede medirse con técnicas de neuroimágenes. La sangre fluye a regiones del cerebro en las que la actividad neuronal es máxima y que requieren un reabastecimiento de oxígeno y glucosa. La *tomografía de emisión de positrones* (TEP) y la *resonancia magnética funcional* (RMf) detectan cambios en el flujo sanguíneo. Los registros se realizan en escáneres cerebrales especiales. Los estudios neuropsicológicos se ocupan de las consecuencias conductuales de las lesiones cerebrales, por lo que nos proporcionan una indicación de las funciones asumidas normalmente por una determinada región cerebral. Actualmente hay también un método para estudiar los efectos de una alteración temporal del cerebro: una técnica denominada *estimulación magnética transcraneana* (EMT).

* Blackmore

EL CEREBRO EN DESARROLLO

CAPÍTULO 2

¿Qué cambia en el cerebro durante el desarrollo?

El cerebro humano adulto contiene unos cien mil millones de células (*neuronas*); al nacer, el cerebro tiene un número de neuronas singularmente similar al del cerebro adulto. Casi todas las neuronas del cerebro se generan mucho antes de nacer: sobre todo durante los tres primeros meses del embarazo. La generación de neuronas recibe el nombre de *neurogénesis*. Se trata de un proceso complejo que comienza con la *división de células progenitoras*, las proveedoras de todas las células nuevas del cerebro. Esta división da origen a otras células progenitoras, o a neuronas, o a células de soporte conocidas como *glía*. Para madurar y sobrevivir, las neuronas deben emigrar de las células progenitoras. Tras la migración, sólo sobreviven la mitad mientras que las demás mueren. Se generan muchas más células cerebrales de las necesarias. Sólo sobreviven las que establecen conexiones activas con otras neuronas.

Un bebé humano nace con casi todas las células cerebrales que llegará a tener salvo en lo que se refiere al cerebelo y al hipocampo, donde el número de células aumenta notablemente después del nacimiento. Durante el desarrollo, el cerebro experimenta varias oleadas de reorganización. No son las propias neuronas las que cambian, sino el «cableado» existente entre ellas. El cableado es la intrincada red de conexiones entre las células (las *dendritas* y las *sinapsis*, véase fig 2.1). Las fibras cortas conectan neuronas próximas entre sí y las fibras largas pueden conectar neuronas muy alejadas.

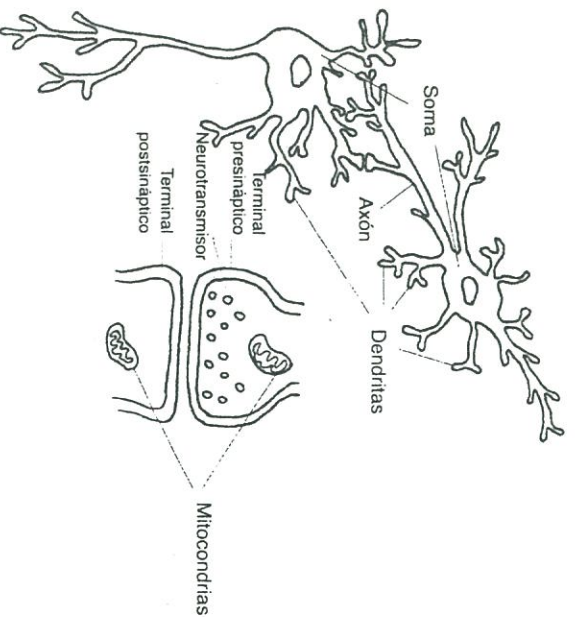


FIGURA 2.1. La sinapsis es la unión de dos neuronas. El axón de una neurona se conecta con los botones terminales de una segunda neurona. Cuando se produce un impulso nervioso (potencial de acción) en la primera neurona, desde el terminal axónico se liberan neurotransmisores que son aceptados por los receptores de las espinas dendríticas de la segunda neurona.

Durante el primer año de vida, el cerebro humano cambia de manera realmente espectacular. Poco después del nacimiento, el número de conexiones entre las células cerebrales comienza a aumentar rápidamente, tanto que el número de conexiones del cerebro de un bebé supera en mucho los niveles adultos. Hay que reducir en gran medida este exceso de conexiones, reducción, o *poda*, que es una parte del desarrollo tan importante como pueda serlo el crecimiento inicial de conexiones.

En los últimos cincuenta años se han hecho muchos descubrimientos sobre cómo se desarrolla el cerebro en los animales jóvenes, siendo buena parte de este conocimiento también aplicable al cerebro de los seres humanos, si bien son todavía escasas las observaciones directas del cerebro humano en desarrollo. De todos modos, los estudios sobre el desarrollo del cerebro durante los primeros años de vida ya han empezado a desempeñar un papel en los debates sobre las políticas educativas.

¿Tres años es demasiado tarde?
El debate sobre la educación en los primeros años

En abril de 1996, la Casa Blanca convocó una conferencia de prensa sobre desarrollo temprano del niño en la que Hillary Clinton hizo referencia a las investigaciones sobre el desarrollo del cerebro. Clinton afirmó que «ahora sabemos mucho más de lo que sabíamos hace unos años sobre cómo se desarrolla el cerebro humano y qué necesitan los niños del entorno para desarrollar la personalidad, la empatía y la inteligencia». Citó estudios según los cuales el medio afecta al desarrollo cerebral en fases tempranas de la vida para evidenciar la importancia que tienen ciertos tipos de estimulación ambiental en los tres primeros años de vida de un niño. Clinton aseguró que «las experiencias [entre el nacimiento y los tres años] pueden determinar si los niños crecerán para ser ciudadanos pacíficos o violentos, trabajadores comprometidos o indisciplinados, padres atentos o indiferentes...». Pidió a los médicos de los EE.UU. que animaran a los padres a leerles a sus hijos pequeños y exigió una mayor inversión en los niños de edades inferiores a los tres años.

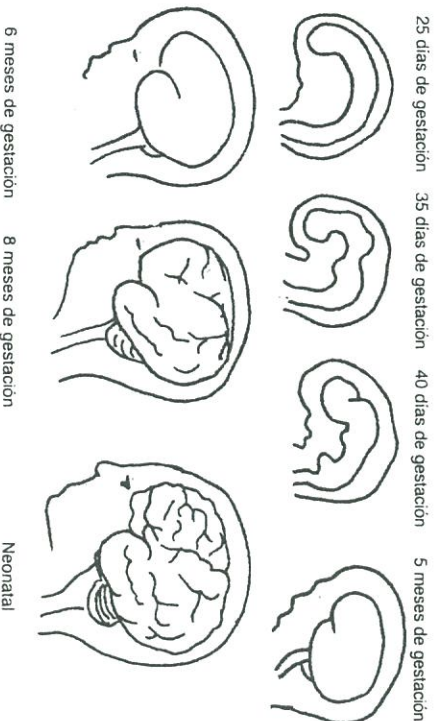


FIGURA 2.2. Casi todas las neuronas del cerebro se generan mucho antes del nacimiento, sobre todo en los tres primeros meses de embarazo. Después del nacimiento, el cerebro cambia de manera espectacular, principalmente en lo que se refiere al número de sinapsis.

Algunas guarderías de los EE.UU. han empezado a estructurar sus currículos en torno a la idea de enriquecer la experiencia de los niños pequeños. En ciertos parvularios americanos, actualmente la jornada escolar de los niños de dos y tres años está atiborrada de información sensorial. Según uno de estos centros situado en Oregón, cada actividad está «concebida para estimular un área clave del cerebro del niño». Diversos grupos educacionales de los EE.UU. han ido aún más lejos, sugiriendo que los niños tendrían que empezar a estudiar idiomas, matemáticas avanzadas, lógica y música lo antes posible, y que el entorno del bebé debería ser enriquecido para lograr un desarrollo cerebral óptimo.

En Gran Bretaña, el debate sobre la educación en los primeros años también ha comenzado a centrarse en el desarrollo cerebral. En 2000, se pidió al Subcomité de la Cámara de los Comunes para la Educación en la Infancia Temprana que examinara varios aspectos de la educación en los primeros años, es decir, la educación y la atención a los niños entre el nacimiento y los seis años de edad. Entre estos aspectos se incluían el contenido adecuado de la educación temprana, el modo en que debería llevarse a cabo la enseñanza pre-escolar, el modo en que habría que evaluar el aprendizaje y la enseñanza pre-escolar, y a qué edad tendrían que empezar los estudios propiamente dichos.

Se trata de cuestiones controvertidas, pues las escuelas de enseñanza primaria del Reino Unido admiten niños en el curso en que cumplen cinco años, es decir, antes que en muchos otros países europeos, donde no comienzan la educación formal hasta los seis o siete años. En estos países, desde los tres años hasta que empiezan a ir a la escuela, los niños generalmente van al jardín de infancia, donde se estimula el desarrollo de destrezas emocionales, sociales y cognitivas en general, principalmente mediante juegos.

En 1999, el gobierno británico presentó sus Objetivos del Aprendizaje Temprano para la educación de los niños de tres años hasta el final de su primer curso escolar. En el plan se esbozaban las expectativas de que los niños de pre-escolar desarrollaran habilidades sociales, físicas e intelectuales. La introducción de los Objetivos del Aprendizaje Temprano provocó una fuerte reacción. Según diversos informes prominentes aparecidos en los medios de comunicación británicos, para los

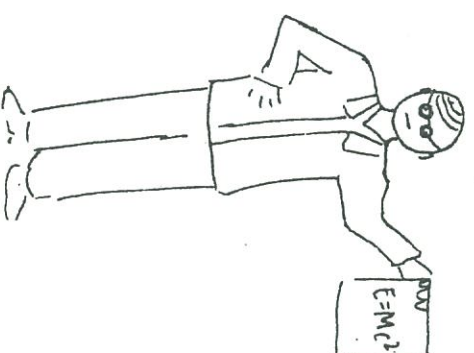


FIGURA 2.3. Hay personas que se muestran a favor de «colocar a sus hijos en invernaderos», donde se usen tarjetas ilustrativas, vídeos y otros materiales audiovisuales para enseñarles destrezas académicas como lectura, lógica y matemáticas.

niños en edad pre-escolar la implantación de objetivos estrictos era algo excesivo.

A la inversa, otros grupos sostenían que los Objetivos de Aprendizaje Temprano se quedaban cortos. Partiendo de los argumentos descritos antes, que surgieron en los EE.UU. en la década de 1990, estos grupos sugerían que la edad crítica para el aprendizaje se halla entre el nacimiento y los tres años, y que los niños debían ser «colocados en invernaderos» durante los primeros años de su vida para que tuviera lugar un aprendizaje óptimo. «Colocar en invernaderos» significa enseñar a los niños destrezas académicas como lectura, lógica y matemáticas utilizando tarjetas ilustrativas, vídeos y otros materiales audiovisuales.

¿Las investigaciones cerebrales proporcionan alguna respuesta?

A ambos lados del Atlántico, los argumentos a favor de un inicio temprano de la educación a menudo se han funda-

mentado en tres hallazgos importantes de la neurobiología del desarrollo, basados en investigaciones con animales. Primero, en la primera infancia se producen incrementos espectaculares en el número de conexiones entre las células cerebrales. Segundo, existen *períodos críticos* en que la experiencia determina el desarrollo del cerebro. Tercero, los *entornos enriquecidos* ocasionan en el cerebro la formación de más conexiones que los entornos empobrecidos.

En realidad, la imagen neurobiológica del desarrollo cerebral es más compleja. En este capítulo describimos algunos de los estudios que han dado lugar a los tres hallazgos citados, así como estudios posteriores que han clarificado y se han extendido sobre los descubrimientos anteriores. Es importante saber acerca de estas investigaciones, pues nos explican por qué hasta ahora no ha habido conclusiones simples. Muchos neurocientíficos ponen en duda que sepamos lo suficiente sobre el cerebro en desarrollo para vincular este conocimiento directamente a la instrucción y la práctica educativa.

Primer argumento: conexiones cerebrales en la primera infancia

Desde muy pronto en el desarrollo posnatal, el cerebro empieza a formar conexiones nuevas (sinapsis, véase figura 2.1), de modo que aumenta muchísimo la *densidad sináptica* (número de sinapsis por unidad de volumen de tejido cerebral). El crecimiento de dendritas en las células nerviosas y la aparición rápida de sinapsis a lo largo de las mismas puede compararse con el vigoroso crecimiento de las plantas en primavera. En el cerebro, este proceso, denominado *sinaptogénesis*, dura un cierto tiempo, dependiendo las distintas duraciones de la especie del animal. El proceso va seguido por un período de *poda sináptica* en el que las conexiones usadas con mucha frecuencia resultan reforzadas y las usadas con poca frecuencia son eliminadas. También podemos comparar esto con la poda necesaria tras el habitual crecimiento de las plantas en el jardín. Si no lo hiciéramos, éstas podrían muy bien acabar asfixiadas.

La primera demostración de la sinaptogénesis se produjo en 1975, cuando se observó que, en el sistema visual, el número

de sinapsis por neurona primero aumenta rápidamente y a continuación disminuye poco a poco hasta niveles de madurez. Esta investigación se llevó a cabo con gatos. Estudios adicionales realizados con monos pusieron de manifiesto que las densidades sinápticas alcanzan los niveles máximos entre dos y cuatro meses después del nacimiento, tras el cual comienza la poda. Las densidades sinápticas bajan gradualmente hasta niveles adultos en torno a los tres años, aproximadamente la edad en que los monos llegan a la madurez sexual. Este proceso, que se produce a lo largo de un período de años, reduce la densidad sináptica global a los niveles adultos.

En las primeras etapas del desarrollo hay también una primera oleada de proliferación y crecimiento espectacular de fibras nerviosas y conexiones de gran alcance entre las células nerviosas. Además de esto, las largas extensiones (los axones, véase figura 1.6) de cada célula nerviosa comienzan a cubrirse de una capa de *mielina*, que actúa como aislante y acelera el movimiento de los impulsos eléctricos por la neurona. Este es un proceso clave del desarrollo cerebral porque incrementa enormemente la velocidad de las señales que se desplazan entre las neuronas. No obstante, aunque todos estos procesos se producen en fases tempranas del desarrollo, quizá el aspecto más estudiado del mismo sea el número de sinapsis.

Así pues, cuando nace un bebé, sus conexiones cerebrales comienzan a crecer y a cambiar. Qué conexiones sobreviven y crecen y cuáles se desvanecen y mueren viene determinado en parte por los genes que el bebé hereda de sus padres y en parte por sus experiencias tempranas. En consecuencia, ¿deberían los bebés ser expuestos a cuantas experiencias de aprendizaje fuera posible durante estas fases tempranas?

No forzosamente. Se supone que el curso temporal de la sinaptogénesis y la poda es el mismo en los seres humanos y en los monos, en los que efectivamente tiene lugar durante los tres primeros años. De todos modos, dado que el desarrollo de los monos es mucho más rápido que el de los seres humanos y su infancia mucho más corta, es probable que el período de crecimiento rápido en el desarrollo cerebral de los seres humanos sea bastante más largo que en los monos. A los tres años los monos son sexualmente maduros, por lo que esta edad puede equivaler aproximadamente a los doce o trece años de los seres humanos.

DESARROLLO EN EL CEREBRO HUMANO

Todas las investigaciones examinadas hasta ahora se han realizado con cerebros de animales. ¿Qué hay del desarrollo del cerebro humano? Por desgracia, no existen muchos estudios sobre dicho desarrollo al basarse principalmente en cerebros de cadáveres a los que se ha realizado la autopsia. La mayoría de los datos acerca del desarrollo del cerebro humano proceden de la *corteza visual humana*, un área grande ubicada en la parte posterior del cerebro que interpreta los estímulos visuales que entran por los ojos (véase figura 2.4). En esta área, se produce un rápido incremento en el número de conexiones sinápticas en torno a los dos o tres meses de edad, el cual alcanza su valor máximo a los ocho o diez meses. Después hay una disminución continua de la densidad sináptica hasta que se estabiliza alrededor de los diez años, permaneciendo en este nivel a lo largo de toda la vida adulta (véase figura 2.5).

En la *corteza frontal humana* (figura 2.4)—el área cerebral encargada de planear acciones, seleccionar e inhibir respuestas, controlar emociones y tomar decisiones—, la sinaptogénesis tiene lugar más tarde y el proceso de poda tarda mucho más que en la corteza visual. En esta área, el desarrollo neuronal prosigue a lo largo de la adolescencia: las densidades sinápticas comienzan a disminuir durante la etapa adolescente y no alcanzan los niveles adultos hasta, al menos, los dieciocho años (véase figura 2.5 y capítulo 8).

¿Recuerda el lector las vainas de mielina que cubren los axones de las neuronas y aceleran las señales que se desplazan por las fibras nerviosas (figura 1.6)? Este proceso de adición de mielina a los axones prosigue durante décadas en algunas áreas cerebrales, en particular en los lóbulos frontales. El proceso continúa bien entrada la adolescencia y la veintena, como comprobaremos en el capítulo 8.

DESARROLLO EN EL PRIMER AÑO DE VIDA

Se han realizado estudios psicológicos con niños pequeños para analizar las destrezas y la conducta que se desarrollan al mismo tiempo que la sinaptogénesis. Cuando empiezan a proliferar las conexiones en la corteza visual, alrededor de los dos

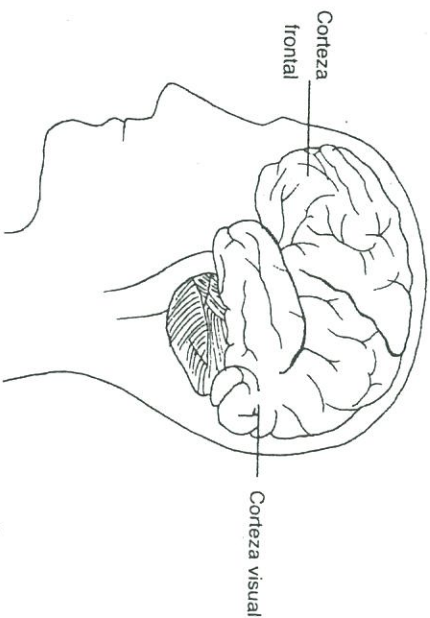


FIGURA 2.4. La mayoría de las investigaciones acerca del desarrollo del cerebro tienen su origen en estudios sobre el desarrollo de la corteza visual en animales. Se sabe mucho menos sobre cómo se desarrolla la corteza frontal. En los seres humanos, esta es la parte del cerebro responsable de planificar acciones, seleccionar e inhibir respuestas, controlar emociones y tomar decisiones.

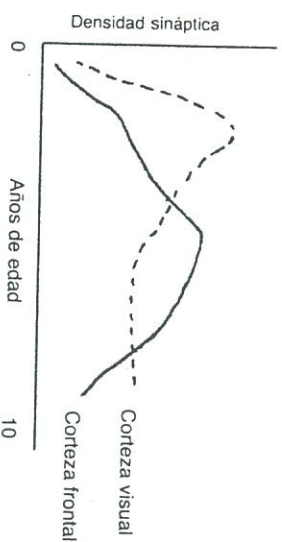


FIGURA 2.5. La sinaptogénesis, o proliferación de sinapsis, tiene lugar en los primeros meses de vida, tras lo cual las sinapsis experimentan una poda de modo que las densidades sinápticas disminuyen gradualmente. En la corteza visual humana, las densidades sinápticas disminuyen poco a poco hasta llegar a niveles adultos mucho antes de que se alcancen densidades sinápticas adultas en la corteza frontal humana. Fuente: adaptado de Huttenlocher & Dabholkar. *Journal of Comparative Neurology* 1997; 387(2): 167-178. Copyright © 1997 de John Wiley. Reimpreso con autorización de John Wiley & Sons, Inc.

meses de edad, los bebés humanos empiezan a perder algunos de sus innatos reflejos infantiles. A los tres meses de edad, los pequeños pueden coger un objeto a la vez que fijan la atención visual en él. Cuando tienen cuatro o cinco meses, se incrementan sus capacidades visuales: pueden detectar y distinguir objetos por el color o los bordes y si estos se están moviendo o no. Con ocho meses, los niños muestran por primera vez capacidad para ejecutar tareas de memoria visual, como las de respuesta demorada. En estas tareas, se oculta un objeto a la visión del niño, y tras una cierta demora, se permite a éste coger el objeto. La memoria de objetos ocultos mejora apreciablemente entre los ocho y los doce meses.

Aunque la aparición de estas capacidades coincide con la reorganización de la corteza visual, quizá no sean ocasionadas necesariamente por estos cambios. Los aumentos en la densidad sináptica se producen al mismo tiempo que la aparición inicial de algunas destrezas y facultades, si bien estas siguen mejorando después de que se hayan reducido las densidades mediante la poda. Así pues, la sinaptogénesis acaso esté relacionada con la aparición inicial de algunas capacidades, pero no puede explicar su perfeccionamiento continuado.

Segundo argumento: períodos críticos en el desarrollo cerebral

Los investigadores saben desde hace treinta años que un animal requiere ciertos tipos de estimulación ambiental en momentos específicos —un período crítico— durante su desarrollo para que se formen con normalidad los sistemas sensoriales y motores del cerebro.

Para investigar el modo en que las neuronas son capaces de adaptar su función a la demanda, en la década de 1960 Torsten Wiesel y David Hubel, de la Universidad de Harvard, llevaron a cabo una serie de innovadores estudios por los que más adelante recibieron el premio Nobel. Estos científicos se preguntaban qué pasaría en el cerebro de un animal recién nacido (en este caso, los animales en cuestión eran gatos) si se le tapaba temporalmente un ojo impidiendo con ello que viera.

Al cabo de aproximadamente tres meses se destapó el ojo, y los investigadores estudiaron las conexiones entre los dos

ojos y el cerebro. Los resultados fueron sorprendentes. La privación visual temprana dio origen a un deterioro grave de las conexiones neuronales en las áreas visuales cerebrales del ojo tapado. Además, prácticamente causó ceguera en este ojo. Ello se debía a que el cerebro no había recibido ninguna estimulación procedente del ojo mermado y se había cableado a sí mismo para recibir información sólo del otro ojo, del abierto. Incluso meses después de haberlo destapado, los gatos seguían sin ver con el ojo inicialmente mermado. En comparación, en gatos plenamente desarrollados, los mismos períodos, o más largos, de privación visual completa no tenían estos efectos en el sistema visual ni en la capacidad de los animales de usar el ojo mermado para guiar su conducta cuando éste se destapara posteriormente.

Estas investigaciones se han repetido muchas veces, por lo que se acepta que deben producirse ciertas experiencias sensoriales a determinada edad para que se desarrollen de manera óptima las correspondientes áreas sensoriales del cerebro. Se citan a menudo las consecuencias irreversibles de la privación visual temprana para avalar la importancia de la educación en las primeras etapas de la infancia. Se han utilizado los hallazgos de las investigaciones para sugerir que a cierta edad deben producirse ciertas experiencias de aprendizaje, de lo contrario el cerebro no se desarrollará como es debido y será imposible que el niño adquiriera jamás las facultades o destrezas pertinentes.

De todos modos, aquí no acaba la historia. Investigaciones adicionales de Hubel y Wiesel y otros científicos han sugerido que es posible recuperar parte de la función, según sea el período específico de la privación y las circunstancias posteriores a la misma. Cuanto más corto sea el período de privación, más recuperación de la función se podrá conseguir. Esto se puede incrementar si se enseña al animal a utilizar el ojo inicialmente mermado tras destaparlo. Aunque habría que experimentar cierta estimulación sensorial antes de determinada edad para un desarrollo óptimo del cerebro, en caso de que esto no sea posible el entrenamiento y la estimulación rehabilitadora en una edad posterior pueden permitir cierto nivel de recuperación en la correspondiente área cerebral.

«PERÍODOS SENSIBLES», «PERÍODOS NO CRÍTICOS»

Actualmente, la mayoría de los neurocientíficos creen que los **períodos críticos** no son rígidos ni inflexibles. Los interpretan si acaso como **períodos sensibles** que comprenden cambios sutiles en la susceptibilidad del cerebro de ser moldeado y modificado por experiencias que se producen a lo largo de la vida. Para que algunas funciones se configuren normalmente, el animal debe recibir del entorno un input sensorial adecuado en una determinada fase del desarrollo. No obstante, el input apropiado no tiene por qué ser en ningún modo completo. Tiende más bien a ser básico y general, y en los entornos normales es fácil de obtener. Por ejemplo, la presencia de objetos, sonidos y estímulos visuales de colores y con dibujos constituyen una estimulación suficiente para las cortezas sensoriales en desarrollo del cerebro humano. Lo que es especialmente importante en el caso de los niños pequeños es la **interacción con otros seres humanos, y ahí incluimos el lenguaje y la comunicación.**

DESTREZAS SENSORIALES AL NACER EN LOS BEBÉS HUMANOS

Los bebés humanos nacen con ciertas capacidades sensoriales, por ejemplo una audición y una visión básicas, que se perfeccionan y desarrollan durante la infancia. El sistema visual del cerebro está parcialmente armado al nacer, pero sigue desarrollándose a lo largo de los primeros años de vida.

Al nacer, los bebés saben distinguir entre distintas formas visuales —los recién nacidos se aburren y desvían la mirada si durante un rato se les ha mostrado el mismo estímulo visual, y sólo vuelven a mirar si se les presenta un estímulo visual nuevo—. Los bebés nacen con una capacidad muy básica, pero impresionante, para **reconocer caras**. Al nacer, parece que el cerebro está provisto de cierta información sobre cómo ha de ser una cara. Los recién nacidos prefieren mirar dibujos de caras enteras antes que dibujos de caras cuyos rasgos han sido «mezclados». Pocos días después de nacer, los bebés aprenden a reconocer el rostro de su madre —miran más rato una imagen de la cara de su madre que la de una cara desconocida.

Esta extraordinaria capacidad temprana para reconocer rostros seguramente está controlada por vías cerebrales distintas de las implicadas en el reconocimiento posterior, más perfeccionado. John Morton y Mark Johnson, de la Universidad de Londres, han sugerido que **el reconocimiento temprano de caras tal vez haya evolucionado, pues origina** («se graba en la memoria») un vínculo automático de los recién nacidos con las personas que ven más a menudo.

Este reconocimiento temprano de caras depende de estructuras *subcorticales* (o sea, situadas debajo de la *corteza cerebral*) como el *colículo superior*. Las estructuras subcorticales forman parte de una vía del cerebro que nos permite efectuar movimientos rapidísimos y de manera automática partiendo de lo que vemos. Comparados con muchos otros animales estas capacidades, que se desarrollan en etapas muy tempranas porque son enormemente importantes. Del mismo modo que los polluelos llevan a su madre «grabada en la memoria» y la siguen automáticamente dondequiera que vaya, es útil también para los bebés recién nacidos que se les quede grabada la cara de aquellos a quienes ven más. Sólo a partir de los dos o tres meses comienzan las **regiones corticales cerebrales de los lóbulos temporales y occipitales** a encargarse de la capacidad de un bebé para reconocer caras.

El sistema *auditivo* del cerebro también está parcialmente desarrollado al nacer. Los bebés recién nacidos saben distinguir sonidos y son sensibles al ritmo, la entonación y los componentes sonoros del habla. Ciertas investigaciones con bebés prematuros han revelado que, en el último trimestre de su vida fetal, estos son sensibles a sonidos del habla. A esta tempranísima edad pueden discriminar entre voces masculinas y femeninas. Los bebés de dos días tras un embarazo a término saben distinguir entre su propia lengua y una lengua extranjera. Los de tres días reconocen la voz de su madre: prefieren oír la voz de su madre antes que una voz desconocida. Estas facultades excepcionalmente tempranas seguramente han sacado provecho de los sonidos apagados, aunque audibles, que el bebé ha oído en el útero.

PERÍODOS SENSIBLES Y PUESTA A PUNTO EN EL CEREBRO DE LOS BEBÉS

Olivier Pascalis, de la Universidad de Sheffield, y Michelle de Haan, de la Universidad de Londres, llevaron a cabo un interesante estudio sobre capacidad temprana de reconocimiento de caras. El estudio puso de manifiesto que, entre los seis y los nueve meses de edad, las capacidades del bebé para percibir diferencias individuales en los rostros se *ponen a punto, se ajustan*. Los bebés que aún no tienen seis meses son muy hábiles a la hora de discriminar entre toda clase de caras: pueden incluso ver las diferencias entre caras de monos, que para los adultos son muy parecidas y resultan difíciles de distinguir. Sin embargo, a partir de los seis meses, esta capacidad se deteriora hasta que poco a poco los bebés van mostrándose menos habilidosos en la tarea de discriminar entre caras de monos, aunque siguen distinguiendo bien las humanas. Esto es útil, pues en el mundo del bebé hay muy pocas caras de monos pero montones de rostros humanos. Es mucho más importante ser capaz de distinguir entre cosas que son comunes en nuestro entorno que entre cosas con las que difícilmente vamos a encontrarnos.

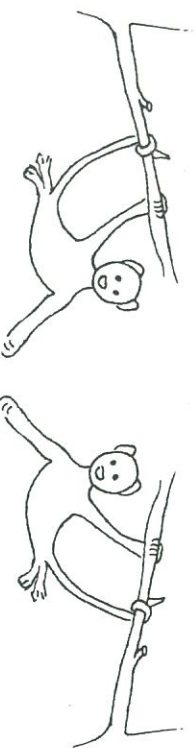


FIGURA 2.6. Para nosotros es difícil apreciar la diferencia entre caras de especies diferentes, como en el caso de los monos. Los bebés son capaces de ver la diferencia entre caras de monos distintas, facultad que pierden progresivamente a partir de los seis meses.

Durante este mismo período, también se ajusta la capacidad de los bebés para percibir diferencias minúsculas en los patrones del habla de su propia lengua. Pero el ajuste tiene un precio: en ambas modalidades, visión y audición, supone un cierto grado de pérdida: los bebés pierden paulatinamente la facultad de discriminar entre caras que no son de su misma especie y entre sonidos que no pertenecen a su lengua. Es un precio que bien merece la pena, pues ello da como resultado la precisión y la asombrosa velocidad del cerebro cuando se trata de reconocer a otras personas que hay alrededor y lo que dicen. Lo que los científicos aún no saben es si la puesta a punto se produce sólo durante un intervalo breve.

¿Qué pasa si el ajuste no puede producirse entre los seis y los nueve meses? Este sería el caso si el niño fuera incapaz de ver u oír. Los niños privados de input sensorial durante este período, ¿alcanzarán la misma eficacia?

¿QUÉ PASA CUANDO NO PUEDE PRODUCIRSE APRENDIZAJE
DURANTE PERÍODOS SENSIBLES?

De vez en cuando nacen bebés con cataratas, lo que origina ceguera. Pero en ciertos casos puede realizarse una intervención quirúrgica para recuperar la visión. Estos ejemplos pueden ayudarnos a comprender mejor la importancia de la estimulación visual en etapas tempranas de la vida. Daphne Maurer, de Canadá, llevó a cabo una serie de estudios excepcionales con bebés operados de cataratas. Había que responder a una pregunta muy práctica: ¿Debía hacerse la operación lo antes posible o más adelante, cuando hubiera menos riesgo médico para el bebé? En sus trabajos iniciales, Maurer observó que incluso cuando se realizaba la operación a los nueve meses de edad, y había por tanto nueve meses de privación visual, la visión se desarrollaba rápidamente. En algunos casos, con una hora de estimulación visual bastaba para lograr un gran aumento de agudeza visual.

De todos modos, la falta de ajuste, que normalmente se producía en los nueve primeros meses pero en los citados casos no pudo producirse, ¿causaba algún problema? La falta de experiencia temprana tenía consecuencias leves pero permanentes. Sólo se apreciaban cuando se estudiaban más adelante,

a los nueve años, determinados aspectos de la percepción visual. Los niños que habían sido operados experimentaban sutiles dificultades reveladoras de que su percepción de las caras no era del todo normal. Sabían distinguir entre rostros diferentes, pero no entre rostros que diferían sólo en la disposición de sus rasgos, una tarea fácil para los niños que no habían sufrido privación visual. Esto se cumplía incluso en los niños operados de cataratas a una edad temprana y cuya privación visual había sido relativamente breve, esto es, entre dos y seis meses.

Así pues, estas investigaciones indican que, aunque es posible desarrollar capacidades sensoriales incluso después del período sensible, las destrezas que se adquirieren después del mismo son ligeramente distintas y tal vez se basan en estrategias y vías cerebrales diferentes de las que se habrían adquirido durante el período sensible.

LOS PERÍODOS SENSIBLES, ¿LIMITAN LA CAPACIDAD PARA APRENDER?

Las investigaciones analizadas en este capítulo revelan que el cerebro experimenta un desarrollo rápido poco después del nacimiento y a lo largo de la infancia temprana y tiene períodos sensibles para el aprendizaje. Las preferencias por estímulos importantes, como las caras, se establecen en fases tempranas, de modo que son posibles discriminaciones muy ajustadas para estímulos que se presentan con mucha frecuencia en el entorno inmediato. Al mismo tiempo, parece disminuir la facultad para discriminar entre estímulos que tienen lugar con muy poca frecuencia. ¿Por qué?

Pensemos en una lavadora adaptable que, en principio, puede lavar toda clase de tejidos y colores y con toda clase de agua y de detergentes. Naturalmente, pulsar todos los botones de control para cubrir todas las eventualidades de cantidad y calidad de agua y detergente es algo bastante laborioso. Imaginemos que, tras un determinado número de coladas, la máquina se ha habituado a una serie concreta de condiciones. Ahora la lavadora tiene ciertas «preferencias» disponibles y puede reducir el número posible de combinaciones. Esto supone una pérdida de la casi ilimitada flexibilidad inicial, pero

también un aumento de eficacia. Habrá menos fuentes de error y una programación más rápida. Creemos que los propietarios de la máquina estarán complacidos con este avance y llamarán a esto aprendizaje. ¿Pero qué ocurre si se mudan a otra casa, si, por ejemplo, van a vivir a un sitio donde el agua es mucho más dura? Como la máquina es tan lista, aprenderá de nuevo. Pero quizá después de todo es algo estúpida, pues los ingenieros han decidido que ha de ser puesta a cero para volver a funcionar otra vez, con lo que el aprendizaje anterior quedará borrado. En esto difiere del cerebro. En el cerebro, el aprendizaje anterior puede resultar muy útil.

VENTANAS CON CIERRE AUTOMÁTICO

Los períodos sensibles se han comparado a menudo con una ventana para el aprendizaje, que se cierra de golpe tras un cierto intervalo crítico del desarrollo. Las ventanas para el aprendizaje rápido existen, pero la propia experiencia las cierra

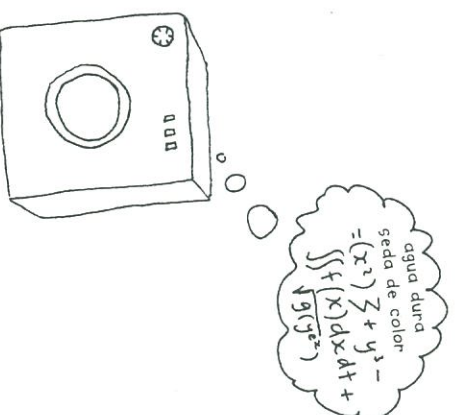


FIGURA 2.7. El ajuste natural de las capacidades de percepción se parece un poco a una lavadora inteligente que aprende a adaptarse a ciertos lavados preferidos y usados con mucha frecuencia. Aunque esto en última instancia la vuelve menos flexible, también hace que sea más eficaz y menos propensa a los errores. En lo referente al cerebro, la afinación de ciertas funciones y la pérdida de otras es útil para el necesario procesamiento rápido de estímulos importantes.

rra. Esto es útil. Al principio es posible distinguir un amplio surtido de toda clase de caras y voces, pero más adelante algunas de estas distinciones se vuelven menos pertinentes y se «pierden». Quizá no sean irrecuperables, y si es preciso tal vez se pueda producir un reaprendizaje posterior. La afinación de ciertas distinciones y la pérdida de otras es útil para el necesario procesamiento rápido de estímulos importantes. No tiene sentido esperar que suceda cualquier cosa: esto daría lugar a una sobrecarga de estimulaciones, a una mayor lentitud y a un incremento de la probabilidad de errores. En cambio, es necesario identificar los estímulos importantes, y rápido.

¿Es triste la imagen de la ventana que se cierra? No tiene por qué. No podemos rehuir el hecho de que tenemos una capacidad limitada para el aprendizaje nuevo, por lo que hemos de dosificar los recursos. Aprender cosas nuevas significa abrir y formar conexiones neurales para sucesos importantes y cerrar otros que ya no lo son y que sólo distraerían y confundirían.

MÁS ALLÁ DEL DESARROLLO SENSORIAL

Hasta ahora hemos hablado sólo del desarrollo de destrezas sensoriales. Ello se debe simplemente a que este es el único aspecto del desarrollo cerebral que se ha estudiado de forma detallada. Se sabe poco sobre si se requieren determinadas experiencias para el desarrollo de destrezas no sensoriales y las correspondientes áreas cerebrales. Se ignora si existen períodos sensibles para sistemas de conocimientos transmitidos culturalmente, como los responsables de la lectura y el cálculo aritmético. Hay pruebas de que existen varios períodos sensibles para el desarrollo del lenguaje. Por contraste, se aprenden palabras nuevas y se incrementa el vocabulario durante toda la vida, no habiéndose descubierto todavía ningún período sensible para el aprendizaje de vocabulario. En los capítulos 3, 5 y 6 abordamos las investigaciones sobre el desarrollo del lenguaje.

Los estudios sobre períodos sensibles son fascinantes y han revelado muchas cosas sobre cómo se desarrolla el cerebro. No hay duda de que un día los hallazgos de las investiga-

ciones esclarecerán la importancia que tienen los períodos sensibles para las destrezas y capacidades que dependen de la formación académica. Actualmente, la principal consecuencia de los descubrimientos de las investigaciones sobre los períodos sensibles es la importancia de que identifiquemos y, si es posible, tratemos los problemas sensoriales de los niños, como las dificultades visuales y auditivas, para que, aunque sea con retraso, aquellos puedan recuperar la función normal. Los resultados sugieren que la privación sensorial temprana puede tener consecuencias duraderas, posiblemente muy leves, indetectables en la vida cotidiana. También indican que incluso después de la privación sensorial puede producirse todavía recuperación y aprendizaje. Tal vez un aprendizaje tardío así difiera del que tiene lugar de manera natural durante los períodos sensibles.

Casi todo lo que se sabe sobre desarrollo cerebral corresponde a la aparición de funciones visuales, de movimiento y de memoria, que se adquieren en casi cualquier entorno del mundo entero aproximadamente a la misma edad. Asimismo, se aprenden de manera natural si se da la estimulación adecuada. Este aprendizaje tiene lugar mucho antes de que los niños inicien la educación propiamente dicha. En general, es la formación académica la que inculca destrezas como la lectura, la escritura o el cálculo aritmético. No obstante, aún se desconoce qué relación tiene la sinapogénesis con la adquisición de estas destrezas y con el aprendizaje educacional posterior. Muy probablemente, mientras los profesores enseñan, se forman conexiones en el cerebro de los estudiantes: desde las células nerviosas surgen dendritas, formándose millones de sinapsis. Este proceso invisible es la base para retener información nueva y clasificarla con el fin de recuperarla más adelante a voluntad.

Tercer argumento: el desarrollo del cerebro requiere un entorno enriquecido

Una característica fundamental del desarrollo cerebral es que las experiencias ambientales son tan importantes como los programas genéticos. Durante varias décadas, Bill Grenough y sus colegas de la Universidad de Illinois han lle-

vado a cabo estudios neurobiológicos que han revelado cómo el medio afecta a las sinapsis cerebrales durante el desarrollo. Estas investigaciones se citan a menudo como prueba de la importancia que tienen los entornos enriquecidos en la infancia temprana.

Los estudios de Grenough, realizados con ratas, demostraron la existencia de un proceso adaptativo general que ponía al día la organización del cerebro partiendo de la experiencia del animal. Los primeros trabajos pusieron de manifiesto que las ratas de laboratorio criadas en un entorno enriquecido, con ruedas en las que dar vueltas, escaleras que subir y otras ratas con las que jugar, tenían, en áreas cerebrales implicadas en la percepción sensorial, hasta un veinticinco por ciento más de sinapsis por neurona que las ratas «privadas», criadas en solitario en una jaula de laboratorio sin juguetes ni compañeros de juegos.

Asimismo, las ratas criadas en entornos complejos realizaban mejor ciertas tareas de aprendizaje y eran más rápidas para salir de un laberinto que las ratas privadas. Así pues, parece que los entornos enriquecidos producen ratas más inteligentes. Además de las consecuencias neurales, la experiencia también afecta a otros aspectos de la estructura celular cerebral. La cantidad de actividad y ejercicio físico que hace una cría de rata determina el estado a largo plazo del suministro de sangre al cerebro.

El mensaje neto de estos experimentos es que, al menos en lo que respecta a las ratas, los entornos con abundante estimulación sensorial, que facilitan desafíos y aventuras, que contienen otras ratas y que estimulan el ejercicio físico producen cerebros con más conexiones neuronales y un mayor suministro sanguíneo, es decir «ratas más inteligentes». En comparación, los entornos que carecen de estimulación, aventura, otras ratas y la posibilidad de ejercicio físico ahogan el desarrollo cerebral y producen ratas más estúpidas.

Estos resultados, ¿significan que hay que manipular especialmente el entorno de un bebé para que sea más confortable de lo normal? Los experimentos con ratas no nos dan ningún indicio de que «cuanto más enriquecido el entorno, mejor». En estos experimentos, el entorno enriquecido del laboratorio era realmente más parecido al normal de una rata en libertad. ¡La cloacas distan de ser aburridas! El hábi-

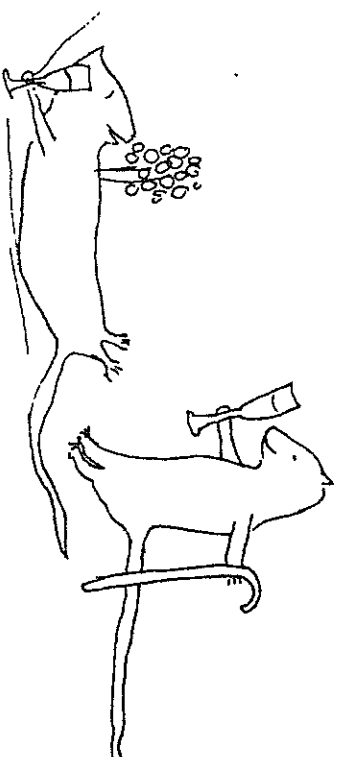


FIGURA 2.8. En los estudios de Bill Grenough, se criaba a las ratas en un entorno enriquecido, con ruedas en las que girar, escaleras que subir y otras ratas con las que jugar.



FIGURA 2.9. Los entornos tempranos enriquecidos parecen producir ratas más inteligentes. Las ratas criadas en hábitats complejos realizaban mejor ciertas tareas de aprendizaje y tardaban menos en encontrar la salida de laberintos que las ratas que habían sufrido privaciones.

rat natural más conocido de la rata comprende a menudo complicados y largos escenarios parecidos a laberintos, llenos de objetos, túneles, olores, sonidos y un gran número de ratas y otros animales.

Así pues, más que poner de manifiesto que la estimulación adicional origina un aumento de las conexiones sinápticas, sería más exacto decir que un entorno «normal» da origen a más conexiones sinápticas que un entorno precario. Es improbable que a los niños criados en un entorno «normal» concebido en función de sus necesidades se les pueda privar de input sensorial. De todos modos, las investigaciones dan a entender que existe un umbral de riqueza ambiental por debajo del cual un entorno precario podría dañar el cerebro del bebé.

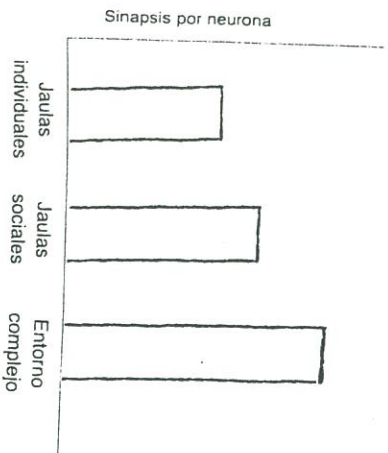


FIGURA 2.10. Si comparamos ratas criadas en una jaula de laboratorio sin compañeros ni juguetes («jaulas individuales») y ratas criadas en una jaula con uno o más congéneres («jaulas sociales»), las que vivían en jaulas enriquecidas con juguetes, compañeros de juegos y ruedas giratorias («entorno complejo») tenían hasta un 25 % más de sinapsis por neurona en las áreas cerebrales implicadas en la percepción sensorial. Fuente: adaptado de Grossman et al. *Progress in Brain Research* 2002; 138: 91-108. Copyright © 2002 de Elsevier Science. Con autorización de los autores y Elsevier Science.

ENTORNOS ENRIQUECIDOS Y APRENDIZAJE DURANTE TODA LA VIDA

Los pioneros estudios de Greenough revelaron que el entorno no afecta sólo al cerebro de la rata en desarrollo. La experiencia puede también influir en el cerebro de la rata adulta. En trabajos posteriores, Greenough y sus colegas pusieron de manifiesto que el cerebro de la rata adulta también forma sinapsis nuevas en respuesta a experiencias y juguetes nuevos. Por tanto, al menos en las ratas, los efectos de los entornos complejos en el cerebro perduran durante toda la vida. En términos generales, las investigaciones no respaldan la idea favorable a una atención educativa selectiva específicamente en los primeros años del niño.

EFFECTOS PERNICIOSOS DE LA PRECARIEDAD AMBIENTAL

Desgraciadamente, en la época actual aún tenemos oportunidades de observar los efectos físicos y mentales de la desatención al desarrollo de los bebés. Hace unos años, se abrieron las puertas de los orfanatos del régimen de Ceaucescu y nos enteramos del espeluznante destino de los bebés abandonados. Mucha gente de países occidentales adoptó niños de estos orfanatos, que habían vivido en condiciones atroces desde las seis semanas hasta los dos o tres años. En el Reino Unido se controló su progreso y se comparó con el de otros niños adoptados. Estos estudios a gran escala fueron llevados a cabo por Michael Rutter y sus colegas de la Universidad de Londres.

Los estudios demostraron claramente que si se desatiende a los bebés, se les causa daño. Los niños que habían sido criados en condiciones muy precarias, con mala nutrición, mala salud y poca estimulación sensorial o social, tenían más probabilidades de presentar un retraso en el aprendizaje de destrezas como andar y hablar, así como un desarrollo cognitivo, emocional y social deteriorado. Rutter y su equipo de investigadores observaron una estrecha relación entre la duración del estado de privación y la gravedad del retraso intelectual del niño. Una pequeña pero significativa proporción de los adoptados rumanos mostraban patrones de conducta de carácter autístico, como acercamientos indiscrimi-

nados a desconocidos, adhesión inflexible a rutinas e intereses obsesivos limitados.

No obstante, en estos estudios la recuperación de capacidades intelectuales y la mejora de las conductas similares a las autísticas fueron extraordinarias. La mayoría de los bebés se restablecieron completamente: desde luego mejoraron sus capacidades sensoriales, las conductas de andar y hablar, y las destrezas sociales y emocionales. Por tanto, aunque mantener a un bebé en una situación precaria es claramente perjudicial, y la duración de la precariedad está relacionada con el alcance de los efectos adversos, estas investigaciones sugieren efectivamente que incluso los niños que han sufrido muchas privaciones pueden recuperarse en gran medida si se les procura atención y estimulación rehabilitadoras. En todo caso, estos estudios sugieren a las claras que nunca es demasiado tarde para la asistencia reparadora.

Vuelta al debate sobre la educación temprana

Las investigaciones examinadas en el presente capítulo, ¿qué sugieren acerca de este acalorado debate? Después de todo, la discusión se ha visto muy influida por hallazgos de los estudios cerebrales. Este es un cuento con moraleja. Para que los resultados de las investigaciones queden establecidos como hechos reproducibles amén de aplicables a los seres humanos en desarrollo, aún queda mucho trabajo por hacer. Las respuestas de las investigaciones neurocientíficas que puedan aplicarse a la educación habrán de ser pacientemente inspeccionadas antes de ser llevadas a la práctica. Si en esto tardamos años, pensemos que no es nada comparado con los siglos de ignorancia en que las cuestiones pertinentes no podían ser estudiadas en absoluto.

Creemos que las investigaciones que hemos analizado en este capítulo no respaldan la idea favorable a una atención educacional *selectiva* sólo en las etapas tempranas del niño, sino más bien que hay que disfrutar de oportunidades de aprendizaje en todas las edades. En pocas palabras, los entornos precarios nunca son buenos para el cerebro. Las privaciones son sin duda malas; por otra parte, el enriquecimiento del medio tal vez no sea forzosamente bueno para el cerebro. No

hay pruebas de que la «colocación en invernaderos» sea benéfica para el desarrollo cerebral. Esto no equivale a decir que dicha «colocación en invernaderos» sea necesariamente perjudicial: quizá lo sea, pero aún no se han llevado a cabo los estudios necesarios.

Esto nos recuerda el consumo de vitaminas en nuestra dieta diaria. Es importante superar cierto nivel mínimo. No obstante, a veces oímos advertencias de que, si no es preciso, no debemos añadir vitaminas a la dieta. Es concebible que exista otro umbral por encima del cual las vitaminas sean nocivas. Asimismo es concebible que se pueda sobrestimular el cerebro en desarrollo. Lo que no se conocen son los efectos que podría tener una sobredosis así.

¿Y qué hay de la necesidad de aprovechar los períodos sensibles del aprendizaje? Las investigaciones nos dicen que existen períodos sensibles al menos para la visión, y alientan en nosotros la optimista creencia de que, en cierta medida, es posible dar marcha atrás con respecto a las oportunidades perdidas.

El debate sobre la educación temprana no ha sido en vano. Es bueno que se discutan las primeras experiencias, siendo muy posible que su enorme importancia se vea claramente respaldada por las investigaciones cerebrales del futuro.