

5

Colección Cómo aprenden las personas

Mente y cerebro



NATIONAL
ACADEMIES
Sciences
Engineering
Medicine

TU
CLASE

Cómo aprenden las personas

Cerebro, mente, experiencia y escuela

Comité de Avances en la Ciencia del Aprendizaje

John D. Bransford, Ann L. Brown y Rodney R. Cocking, editores

con material adicional del
Comité de Investigación sobre el Aprendizaje
y la Práctica Educativa

M. Suzanne Donovan, John D. Bransford y James W. Pellegrino, editores

Comisión de Ciencias Sociales y del Comportamiento en
Educación

Consejo Nacional de Investigación
(National Research Council)

NATIONAL ACADEMY PRESS,
Washington, D.C.

This is a translation of *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*, National Research Council; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; Board on Behavioral, Cognitive, and Sensory Sciences; Committee on Developments in the Science of Learning with additional material from the Committee on Learning Research and Educational Practice © 2000 National Academy of Sciences. First published in English by National Academies Press. All rights reserved.

Edición en español

- Edición general: Eugenio Severin
- Traducción: Danilo Acevedo
- Edición y maquetación: María José Carreño Valencia

Prefacio

Es un honor presentar esta colección de libros en español, que recoge una serie de investigaciones fundamentales sobre cómo las personas aprenden y cómo podemos aplicar ese conocimiento en el ámbito educativo. Esta obra, que integra los hallazgos de los libros *How People Learn* y *How People Learn II*, se ofrece ahora en una edición ampliada, traducida y convertida en una colección de 20 libros breves, para proporcionar una comprensión integral de los procesos de aprendizaje, tanto en el contexto escolar como en otros ámbitos de la vida cotidiana.

El esfuerzo por traducir y poner a disposición de los lectores de América Latina estos trabajos es invaluable. Agradecemos profundamente el trabajo realizado por Tu Clase, cuya dedicación ha permitido que estos recursos científicos lleguen a una audiencia más amplia, contribuyendo a la mejora de la educación en la región. Este esfuerzo no solo facilita el acceso a investigaciones de vanguardia sobre el aprendizaje, sino que también fomenta

el diálogo entre la teoría y la práctica educativa, unificando las ideas de los dos libros originales una colección de gran relevancia para los educadores, estudiantes y responsables de políticas educativas de la región.

Esta colección abarca descubrimientos clave en diversas disciplinas como la neurociencia, la psicología cognitiva y social, la antropología y la educación, proporcionando una visión holística de cómo las personas aprenden y cómo podemos aplicar estos conocimientos en el aula y más allá. Además, ofrece un enfoque práctico que conecta la investigación con las estrategias pedagógicas, ayudando a los educadores a transformar sus enfoques y mejorar la experiencia educativa de sus estudiantes.

A través de esta colección, la National Science Academy de Estados Unidos y Tu Clase invitan a educadores, estudiantes, investigadores y responsables de políticas educativas a reflexionar sobre los avances en la ciencia del aprendizaje y a aplicar estos conocimientos para transformar la educación en nuestras comunidades. Esta obra representa un intento de apoyar un futuro educativo más informado y accesible, donde la ciencia y la práctica se encuentran para ofrecer una educación más profunda, significativa y equitativa para todos.

Alphonse MacDonald
Editor, National Academies Press

Prólogo

Este quinto volumen de la colección *Cómo aprenden las personas* explorará lo esencial que sabemos en torno al funcionamiento de nuestro cerebro y nuestra mente, en relación con el aprendizaje.

Conocer cómo funciona el cerebro humano es, para quienes educamos, tan fundamental como para un piloto conocer el panel de control de su avión. El cerebro, junto con la mente que en él emerge, constituye el hardware y el sistema operativo con el que cada ser humano aprende, recuerda, decide y se transforma. Comprender estos mecanismos no es solo una curiosidad científica: es una herramienta poderosa para enseñar mejor. Un docente informado sobre el funcionamiento cerebral puede tomar decisiones pedagógicas más acertadas, más humanas, y más eficaces.

El aprendizaje no ocurre en el vacío, sino en cerebros vivos, activos, moldeables y profundamente sensibles al entorno. Saber cómo el cerebro procesa la información, cómo se construye la memoria, cómo influyen las emociones en el aprendizaje, permite ajustar las prácticas pedagógicas a las posibilidades reales de nuestros estudiantes. Enseñar sin ese conocimiento es como navegar sin brújula. En cambio, enseñar conociendo el cerebro es reconocer que hay tiempos, ritmos y condiciones que potencian o dificultan el aprendizaje, y que nuestra tarea es crear las mejores condiciones posibles.

Ahora bien, no todos los cerebros son iguales. Cada estudiante es el resultado de una compleja interacción entre su herencia genética y su experiencia de vida. Esta singularidad se manifiesta en la manera en que cada uno piensa, recuerda, siente, y se relaciona con el conocimiento. Sin embargo, también compartimos estructuras y funciones cerebrales comunes: dispositivos universales como la atención, la memoria de trabajo, la autorregulación, que, si se conocen y se estimulan correctamente, pueden abrir paso a aprendizajes más profundos y duraderos para todos.

Por eso, un gran educador no solo enseña contenidos: cultiva una mirada curiosa basada en la evidencia científica. Esto no significa automarizar la enseñanza ni reducirla a fórmulas biológicas, sino integrar el conocimiento científico al saber pedagógico. Significa comprender que detrás de cada conducta hay un cerebro que interpreta, que detrás de cada dificultad hay una mente que busca sentido, y que detrás de cada logro hay un entramado de conexiones neuronales que se han fortalecido con la experiencia y la guía adecuada.

Este libro que el lector tiene en sus manos es una invitación a pensar la educación desde ese lugar: el punto de encuentro entre la neurociencia, la psicología y la pedagogía. Sus páginas ofrecen claves claras y profundas para entender cómo aprendemos y qué podemos hacer para enseñar mejor. No se trata de un manual técnico, sino de una guía lúcida y accesible que nos ayuda a enseñar con más ciencia, más empatía y más efectividad. Porque cuando comprendemos cómo funciona el cerebro, enseñamos no solo con el corazón, sino también con conocimiento.

Eugenio Severin C.
Director ejecutivo
Tu Clase

5

Mente y cerebro

Como ha descubierto la prensa popular, las personas tienen un gran interés por la investigación sobre el funcionamiento del cerebro y el desarrollo de los procesos de pensamiento (Newsweek, 1996, 1997; Time, 1997a, b). El interés es particularmente alto en lo que respecta al desarrollo neurobiológico de bebés y niños, y al efecto de las experiencias tempranas sobre el aprendizaje. Los campos de la neurociencia y la ciencia cognitiva están ayudando a satisfacer esta curiosidad fundamental sobre cómo piensan y aprenden las personas.

Al considerar qué hallazgos de la investigación sobre el cerebro son relevantes para el aprendizaje humano —y, por extensión, para la educación—, es importante evitar adoptar conceptos de moda que no han demostrado ser útiles en la práctica educativa. Entre ellos se encuentra la idea de que los hemisferios izquierdo y derecho del cerebro deben enseñarse por separado para maximizar la

eficacia del aprendizaje. Otra es la noción de que el cerebro crece en “pulsos” holísticos, en torno a los cuales deberían organizarse objetivos educativos específicos. Como se discute en este libro, existe evidencia significativa de que las regiones cerebrales se desarrollan de forma asincrónica, aunque sus implicancias educativas concretas aún no están del todo claras. Otro concepto erróneo ampliamente difundido es que las personas solo usan el 20 por ciento de su cerebro —con porcentajes variables según la fuente—, y que deberían poder usar más. Esta creencia parece haberse originado en los primeros descubrimientos de la neurociencia, cuando se observó que gran parte de la corteza cerebral consistía en “zonas silenciosas” que no se activaban con estímulos sensoriales o motores. Sin embargo, hoy se sabe que esas zonas silenciosas median funciones cognitivas superiores que no están directamente vinculadas con la actividad sensorial o motora.

Los avances en neurociencia están confirmando posturas teóricas sostenidas por la psicología del desarrollo desde hace años, como la importancia de las experiencias tempranas en el desarrollo (Hunt, 1961). Lo novedoso —y por tanto relevante para este colección— es la convergencia de evidencia de varios campos científicos. Las ciencias del desarrollo, la psicología cognitiva y la neurociencia, por nombrar solo tres, han aportado una gran cantidad de investigaciones, cuyos hallazgos convergen para ofrecer una visión más completa del desarrollo intelectual. Parte del progreso en la comprensión de los mecanismos del aprendizaje por parte de la neurociencia se debe a tecnologías de imagen no invasivas, como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética funcional (fMRI). Estas tecnologías han permitido a los investigadores observar directamente los procesos de aprendizaje humano.

Este libro presenta hallazgos clave de la neurociencia y la ciencia cognitiva que amplían el conocimiento sobre los mecanismos del aprendizaje humano. La discusión se organiza en torno a tres puntos principales:

1. El aprendizaje cambia la estructura física del cerebro.
2. Estos cambios estructurales modifican la organización funcional del cerebro; en otras palabras, el aprendizaje organiza y reorganiza el cerebro.
3. Distintas partes del cerebro pueden estar preparadas para aprender en diferentes momentos.

Primero se explican algunos conceptos básicos de la neurociencia y nuevos conocimientos sobre el desarrollo cerebral, incluyendo los efectos de la enseñanza y el aprendizaje en el cerebro. Luego se analiza el lenguaje en el aprendizaje como ejemplo de la conexión mente-cerebro. Finalmente, se revisa la investigación sobre cómo se representa la memoria en el cerebro y sus implicancias para el aprendizaje.

Desde la perspectiva de la neurociencia, la enseñanza y el aprendizaje son partes fundamentales del desarrollo cerebral y psicológico infantil. El desarrollo cerebral y psicológico implica interacciones continuas entre el niño y el entorno externo –o, más precisamente, una jerarquía de entornos que se extienden desde las células individuales del cuerpo hasta el límite más obvio: la piel. Comprender mejor la naturaleza de este proceso interactivo vuelve irrelevante preguntas como cuánto depende del ambiente y cuánto de los genes. Como han sugerido diversos investigadores del desarrollo, esta pregunta es tan poco útil como preguntarse

qué contribuye más al área de un rectángulo: ¿su altura o su ancho? (Eisenberg, 1995).

El cerebro: fundamento del aprendizaje

Los neurocientíficos estudian la anatomía, la fisiología, la química y la biología molecular del sistema nervioso, con particular interés en cómo la actividad cerebral se relaciona con el comportamiento y el aprendizaje. Hay varias preguntas clave sobre el aprendizaje temprano que intriguen a los neurocientíficos: ¿Cómo se desarrolla el cerebro? ¿Existen etapas en su desarrollo? ¿Hay períodos críticos durante los cuales ciertas cosas deben suceder para que el cerebro se desarrolle normalmente? ¿Cómo se codifica la información en los sistemas nerviosos en desarrollo y en el adulto? Y quizás lo más importante: ¿cómo afectan las experiencias al cerebro?

Algunos conceptos básicos

Una célula nerviosa, o neurona, es una célula que recibe información de otras células nerviosas o de los órganos sensoriales, y luego transmite esa información a otras células nerviosas, mientras que otras neuronas la devuelven a las partes del cuerpo que interactúan con el entorno, como los músculos. Las neuronas tienen un cuerpo celular —una especie de núcleo metabólico— y una extensa estructura en forma de árbol llamada campo dendrítico, que constituye el lado receptor de la neurona. La información entra en la célula principalmente a través de proyecciones llamadas axones. La mayor parte de la información excitatoria llega al cuerpo celular a través

del campo dendrítico, a menudo por medio de pequeñas extensiones llamadas espinas dendríticas. Las conexiones por las que pasa la información de una neurona a otra se llaman sinapsis, y pueden ser de naturaleza excitatoria o inhibitoria. La neurona integra la información que recibe de todas sus sinapsis, y esto determina su salida o respuesta.

Durante el proceso de desarrollo, el “diagrama de cableado” del cerebro se crea mediante la formación de sinapsis. Al nacer, el cerebro humano solo cuenta con una pequeña proporción de las billones de sinapsis que tendrá en la adultez; alcanza aproximadamente dos tercios de su tamaño adulto después del nacimiento. El resto de las sinapsis se forma más tarde, y parte de este proceso está guiado por la experiencia.

Las conexiones sinápticas se agregan al cerebro de dos maneras principales: Sobreproducción y eliminación selectiva de sinapsis: la sobreproducción de sinapsis y su eliminación posterior es un mecanismo fundamental que el cerebro usa para incorporar información a partir de la experiencia. Este fenómeno suele ocurrir durante los primeros períodos del desarrollo. Por ejemplo, en la corteza visual —el área de la corteza cerebral que controla la vista—, un bebé tiene muchas más sinapsis a los 6 meses de edad que un adulto. Esto se debe a que en los primeros meses de vida se forman muchas sinapsis, y luego desaparecen, a veces en cantidades enormes. El tiempo que tarda este fenómeno en completarse varía según la zona del cerebro: de 2 a 3 años en la corteza visual humana, y hasta 8 o 10 años en algunas partes de la corteza frontal.

Algunos neurocientíficos explican la formación de sinapsis con la analogía del arte de la escultura. Los artistas clásicos, al trabajar el mármol, creaban esculturas eliminando el

material sobrante. Los estudios en animales sugieren que la “poda” que ocurre durante la sobreproducción y eliminación de sinapsis es similar: el sistema nervioso establece una gran cantidad de conexiones, y la experiencia actúa sobre esta red, seleccionando las conexiones adecuadas y eliminando las inadecuadas. Lo que queda es una forma final refinada que constituye la base sensorial —y posiblemente también cognitiva— para las fases posteriores del desarrollo.

Adición de nuevas sinapsis: esta forma de crecimiento es como el artista que crea una escultura agregando material hasta completar la forma. A diferencia del proceso de sobreproducción y eliminación, la adición de sinapsis opera a lo largo de toda la vida humana, y es especialmente importante en etapas posteriores. Este proceso no solo es sensible a la experiencia, sino que está impulsado por la experiencia misma. La adición de sinapsis probablemente sea la base de algunas —o muchas— formas de memoria. Como se analizará más adelante en este libro, el trabajo de científicos cognitivos e investigadores en educación está ayudando a comprender mejor este proceso.

Conectando el cerebro

El papel de la experiencia en la conexión del cerebro ha sido revelado gracias a investigaciones sobre la corteza visual en animales y humanos. En los adultos, las señales que llegan al cerebro desde ambos ojos terminan en regiones adyacentes de la corteza visual. Posteriormente, estas señales convergen en el siguiente conjunto de neuronas. Este patrón de conexión no está presente al nacer; es el resultado de los procesos normales de visión, a través de los cuales el cerebro organiza la información.

Los neurocientíficos descubrieron este fenómeno estudiando a personas con anomalías visuales, como cataratas o problemas musculares que desvian el ojo. Si uno de los ojos se ve privado de experiencia visual adecuada en una etapa temprana del desarrollo, pierde la capacidad de transmitir información visual al sistema nervioso central. Aun si el problema visual se corrige más adelante, el ojo sigue sin ver bien. En estudios con monos a los que se les indujeron manipulaciones similares, los investigadores encontraron que el ojo normal capturaba una mayor cantidad de conexiones neuronales, mientras que el ojo afectado perdía esas conexiones.

Este fenómeno solo ocurre si la privación visual sucede muy temprano en el desarrollo. El período en el que el ojo es más sensible coincide con el momento de sobreproducción y eliminación de sinapsis en la corteza visual. De todas las conexiones iniciales que se superponen, las correspondientes al ojo que ve normalmente tienden a sobrevivir, mientras que las del ojo afectado se eliminan. Si ambos ojos funcionan normalmente, cada uno pierde parte de las conexiones superpuestas, pero ambos conservan una cantidad normal de conexiones.

En los casos en que la privación comienza al nacer, un ojo puede terminar ocupando completamente el espacio cortical. Sin embargo, cuanto más tarde ocurre la privación después del nacimiento, menor es el efecto. Hacia los 6 meses de edad, cerrar un ojo durante semanas ya no tiene impacto. El período crítico ha pasado: las conexiones ya se han establecido y las redundancias se han eliminado.

Esta anomalía ha permitido a los científicos entender mejor el desarrollo visual normal. En condiciones normales, las vías de cada ojo se esculpen —o podan— hasta tener el

número adecuado de conexiones, y esas conexiones se organizan de otras formas, por ejemplo, para permitir el reconocimiento de patrones. Mediante la sobreproducción de sinapsis y la posterior selección, el cerebro desarrolla un “cableado” organizado que funciona de manera óptima. Este proceso de desarrollo cerebral utiliza la información visual que entra desde el entorno para lograr una organización más precisa de la que permitirían solo los mecanismos moleculares internos. Y esta influencia del entorno es aún más importante en el desarrollo cognitivo posterior. Cuanto más interactúa una persona con el mundo, más necesita que la información del entorno se incorpore en las estructuras de su cerebro.

La sobreproducción y selección de sinapsis puede progresar a ritmos distintos en diferentes partes del cerebro (Huttenlocher y Dabholkar, 1997). En la corteza visual primaria, el pico en la densidad sináptica ocurre relativamente temprano. En cambio, en la corteza frontal medial —una región claramente asociada con funciones cognitivas superiores— el proceso es más prolongado: la producción sináptica comienza antes del nacimiento y la densidad sináptica continúa aumentando hasta los 5 o 6 años de edad. El proceso de selección, que conceptualmente corresponde a la organización principal de los patrones, continúa durante los 4 o 5 años siguientes y concluye alrededor de la adolescencia temprana. Esta falta de sincronía entre regiones corticales también puede observarse dentro de neuronas individuales, donde diferentes entradas pueden madurar a diferentes ritmos (ver Juraska, 1982, en estudios con animales).

Una vez que ha concluido el ciclo de sobreproducción y selección sináptica, se producen otros cambios en el cerebro. Estos parecen incluir tanto la modificación

de sinapsis existentes como la adición de sinapsis completamente nuevas. La evidencia de investigación (descrita en la sección siguiente) sugiere que la actividad en el sistema nervioso asociada al aprendizaje estimula a las células nerviosas a crear nuevas sinapsis. A diferencia del proceso de sobreproducción y eliminación, la adición y modificación de sinapsis son procesos que duran toda la vida y están impulsados por la experiencia. En esencia, la calidad de la información a la que una persona está expuesta y la cantidad de información que adquiere se refleja a lo largo de su vida en la estructura de su cerebro. Este proceso probablemente no sea la única manera en que la información se almacena en el cerebro, pero sí constituye un mecanismo fundamental para comprender cómo aprenden las personas.

Experiencias y ambientes para el desarrollo cerebral

Las alteraciones en el cerebro que ocurren durante el aprendizaje parecen hacer que las neuronas sean más eficientes o poderosas. Los animales criados en entornos complejos presentan un mayor volumen de capilares por neurona —y, por lo tanto, un mayor suministro de sangre al cerebro— que los animales enjaulados, independientemente de si estos últimos vivían solos o acompañados (Black et al., 1987). (Los capilares son los diminutos vasos sanguíneos que suministran oxígeno y otros nutrientes al cerebro). De este modo, la experiencia mejora la calidad general del funcionamiento cerebral. Al usar los astrocitos (células que apoyan el funcionamiento neuronal proporcionando nutrientes y eliminando desechos) como índice, se observa una mayor cantidad de astrocitos por neurona en los

animales de entornos complejos que en los de grupos enjaulados. En conjunto, estos estudios muestran un patrón coordinado de aumento de la capacidad cerebral que depende de la experiencia.

Otros estudios con animales también han demostrado cambios cerebrales asociados al aprendizaje; ver Recuadro 5.1. El peso y grosor de la corteza cerebral puede modificarse notablemente en ratas criadas desde el destete, o colocadas en la adultez, en jaulas grandes enriquecidas con una variedad cambiante de objetos para jugar y explorar, además de otros compañeros que inducen al juego y la exploración (Rosenzweig y Bennett, 1978). Estos animales también obtienen mejores resultados en diversas tareas de resolución de problemas en comparación con las ratas criadas en jaulas estándar de laboratorio. Curiosamente, tanto la presencia interactiva de un grupo social como el contacto físico directo con el entorno son factores importantes: los animales colocados solos en entornos enriquecidos mostraron beneficios limitados; tampoco se observaron mejoras significativas en aquellos situados en jaulas pequeñas dentro del entorno enriquecido (Ferchmin et al., 1978; Rosenzweig y Bennett, 1972). Así, la estructura general de la corteza cerebral fue alterada tanto por la exposición a oportunidades de aprendizaje como por el aprendizaje en un contexto social.

¿La actividad neuronal por sí sola cambia el cerebro o se necesita aprendizaje?

¿Los cambios en el cerebro se deben al aprendizaje real o a variaciones en los niveles generales de actividad neuronal? Los animales en entornos complejos no solo aprenden de sus experiencias, sino que también corren, juegan y se ejercitan, lo que activa el cerebro. La pregunta es si la

RECUADRO 5.1 Haciendo ratas más inteligentes

¿Cómo aprenden las ratas? ¿Se puede “educar” a una rata? En estudios clásicos, las ratas son puestas en un entorno comunitario complejo, lleno de objetos que ofrecen amplias oportunidades para la exploración y el juego (Greenough, 1976). Los objetos se cambian y reorganizan cada día, y durante ese tiempo de cambio, los animales se ubican en otro entorno con un nuevo conjunto de objetos. Así, como sus contrapartes del mundo real en las alcantarillas de Nueva York o los campos de Kansas, estas ratas tienen una variedad relativamente rica de experiencias de las que pueden extraer información. En contraste, otro grupo de ratas es puesto en un entorno de laboratorio más típico, viviendo solas o con una o dos más en una jaula estéril —lo cual es, evidentemente, un modelo muy pobre del mundo real de una rata. Estos dos entornos permiten determinar cómo la experiencia afecta el desarrollo normal del cerebro y de las estructuras cognitivas, y también observar qué sucede cuando los animales son privados de experiencias críticas.

Después de vivir en entornos complejos o empobrecidos durante un periodo que va desde el destete hasta la adolescencia de la rata, los dos grupos fueron sometidos a una experiencia de aprendizaje. Las ratas que crecieron en el entorno complejo cometieron menos errores desde el principio que las otras ratas; además, aprendieron más rápido a no cometer ningún error. En ese sentido, eran más inteligentes que sus contrapartes más privadas de estímulos. Y con recompensas positivas, mostraron un mejor desempeño en tareas complejas que los animales criados en jaulas individuales. Lo más significativo es que el aprendizaje alteró los cerebros de las ratas: los animales del entorno complejo tenían entre un 20 y un 25 por ciento más de sinapsis por célula nerviosa en la corteza visual que los animales de las jaulas estándar (véanse Turner y Greenough, 1985; Beaulieu y Colonnier, 1987). Es evidente que cuando los animales aprenden, añaden nuevas conexiones al cableado de sus cerebros —un fenómeno que no se limita al desarrollo temprano (véase, por ejemplo, Greenough et al., 1979).

activación por sí sola puede producir cambios cerebrales sin que los sujetos realmente aprendan algo, así como la activación de los músculos mediante ejercicio puede hacerlos crecer.

Para responder a esta pregunta, se comparó un grupo de animales que aprendieron habilidades motoras desafiantes pero con poca actividad cerebral con otros grupos que presentaban altos niveles de actividad cerebral pero poco aprendizaje (Black et al., 1990). Se formaron cuatro grupos en total. Un grupo de ratas fue entrenado para atravesar un circuito elevado de obstáculos; estos “acróbatas” se volvieron muy hábiles en la tarea después de un mes de práctica. Un segundo grupo, los “ejercitadores obligatorios”, era colocado diariamente en una trotadora: corrían 30 minutos, descansaban 10, y luego corrían otros 30. Un tercer grupo, los “ejercitadores voluntarios”, tenía acceso libre a una rueda de ejercicio conectada directamente a su jaula, que usaban con frecuencia. El grupo de control, las ratas “sedentarias”, no realizaba ningún ejercicio.

¿Qué ocurrió con el volumen de vasos sanguíneos y el número de sinapsis por neurona en las ratas? Tanto los ejercitadores obligatorios como los voluntarios mostraron una mayor densidad de vasos sanguíneos que las ratas sedentarias y que los acróbatas, quienes habían aprendido habilidades sin implicar una gran actividad física. Sin embargo, al medir el número de sinapsis por célula nerviosa, los acróbatas fueron el grupo destacado. El aprendizaje genera sinapsis; el ejercicio no. Por lo tanto, distintos tipos de experiencia condicionan el cerebro de maneras distintas. La formación de sinapsis y la formación de vasos sanguíneos (vascularización) son dos formas importantes de adaptación cerebral, pero están impulsadas por mecanismos fisiológicos y eventos conductuales distintos.

Cambios localizados

El aprendizaje de tareas específicas genera cambios localizados en las áreas del cerebro correspondientes a la tarea. Por ejemplo, cuando se entrenaron animales jóvenes para que resolvieran un laberinto, ocurrieron cambios estructurales en el área visual de la corteza cerebral (Greenough et al., 1979). Cuando aprendieron el laberinto con un ojo bloqueado por una lente de contacto opaca, solo las regiones cerebrales conectadas con el ojo abierto fueron alteradas (Chang y Greenough, 1982). Al aprender un conjunto de habilidades motoras complejas, los cambios estructurales ocurrieron en la región motora de la corteza cerebral y en el cerebelo, una estructura del cerebro posterior que coordina la actividad motora (Black et al., 1990; Kleim et al., 1996).

Estos cambios en la estructura cerebral subyacen a cambios en la organización funcional del cerebro. Es decir, el aprendizaje impone nuevos patrones de organización en el cerebro, y este fenómeno ha sido confirmado mediante registros electrofisiológicos de la actividad de las células nerviosas (Beaulieu y Cynader, 1990). Los estudios sobre el desarrollo cerebral proporcionan un modelo del proceso de aprendizaje a nivel celular: los cambios observados inicialmente en ratas también se han comprobado en ratones, gatos, monos y aves, y casi con certeza ocurren en los seres humanos.

Rol de la instrucción en el desarrollo cerebral

Es evidente que el cerebro puede almacenar información,

pero ¿qué tipo de información? Los neurocientíficos no abordan estas preguntas. Responderlas es tarea de los científicos cognitivos, los investigadores en educación y otros estudiosos que analizan los efectos de las experiencias sobre el comportamiento humano y el potencial humano. Varios ejemplos ilustran cómo la instrucción en tipos específicos de información puede influir en los procesos naturales de desarrollo. Esta sección aborda un caso relacionado con el desarrollo del lenguaje.

Desarrollo del lenguaje y cerebro

El desarrollo cerebral suele estar sincronizado para aprovechar experiencias particulares, de modo que la información proveniente del entorno ayuda a organizar el cerebro. El desarrollo del lenguaje en los seres humanos es un ejemplo de un proceso natural que sigue una cronología con ciertas condiciones limitantes. Al igual que el desarrollo del sistema visual, en el desarrollo del lenguaje humano ocurren procesos paralelos para la capacidad de percibir fonemas, los “átomos” del habla. Un fonema se define como la unidad mínima significativa de sonido del habla. Los seres humanos discriminan el sonido de la “b” de la “p” principalmente percibiendo el tiempo de inicio de la voz en relación con el momento en que los labios se separan; existe una frontera que separa la “b” de la “p” y que ayuda a distinguir “bet” de “pet”. Este tipo de fronteras existen entre fonemas estrechamente relacionados, y en los adultos estas fronteras reflejan la experiencia lingüística. Los niños muy pequeños discriminan muchas más fronteras fonémicas que los adultos, pero pierden su capacidad discriminatoria cuando ciertas fronteras no son apoyadas por la experiencia con el lenguaje hablado (Kuhl, 1993). Los hablantes nativos de japonés, por ejemplo, típicamente no discriminan el sonido de la “r” del de la “l”, una distinción

evidente para los hablantes de inglés, y esta capacidad se pierde en la infancia temprana porque no está presente en el habla que oyen. No se sabe si la sobreproducción y eliminación de sinapsis subyace a este proceso, pero ciertamente parece plausible.

El proceso de eliminación de sinapsis ocurre de manera relativamente lenta en las regiones corticales cerebrales involucradas en aspectos del lenguaje y otras funciones cognitivas superiores (Huttenlocher y Dabholkar, 1997). Distintos sistemas cerebrales parecen desarrollarse según diferentes cronologías, impulsadas en parte por la experiencia y en parte por fuerzas intrínsecas. Este proceso sugiere que los cerebros de los niños pueden estar más preparados para aprender diferentes cosas en distintos momentos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el aprendizaje continúa afectando la estructura del cerebro mucho después de que se complete la sobreproducción y pérdida de sinapsis. Se agregan nuevas sinapsis que no existirían sin el aprendizaje, y el diagrama de cableado del cerebro sigue reorganizándose a lo largo de la vida. Puede haber otros cambios en el cerebro relacionados con la codificación del aprendizaje, pero la mayoría de los científicos coinciden en que la adición y modificación de sinapsis son los más ciertos.

Ejemplos de los efectos de la instrucción en el desarrollo cerebral

En los últimos años, ha emergido un conocimiento detallado de los procesos cerebrales que subyacen al lenguaje. Por ejemplo, parece haber áreas cerebrales separadas que se especializan en sub-tareas como escuchar palabras (lenguaje hablado de otros), ver palabras (lectura), hablar palabras (habla) y generar palabras (pensar).

con lenguaje). Si estos patrones de organización cerebral para habilidades orales, escritas y de escucha requieren ejercicios separados para promover las habilidades componentes del lenguaje y la alfabetización, aún está por determinarse. Si estas habilidades estrechamente relacionadas tienen representaciones cerebrales algo independientes, entonces la práctica coordinada de estas habilidades podría ser una mejor manera de fomentar que los aprendices se desenvuelvan de manera fluida entre hablar, escribir y escuchar.

El lenguaje proporciona un ejemplo particularmente notable de cómo los procesos instruccionales pueden contribuir a organizar las funciones cerebrales. El ejemplo es interesante porque los procesos lingüísticos suelen asociarse más estrechamente con el lado izquierdo del cerebro. Como se señala a continuación, experiencias específicas pueden contribuir a que otras áreas del cerebro asuman algunas funciones del lenguaje. Por ejemplo, las personas sordas que aprenden un lenguaje de señas están aprendiendo a comunicarse utilizando el sistema visual en lugar del sistema auditivo. Los lenguajes de señas manuales tienen estructuras gramaticales, con afijos y morfología, pero no son traducciones de lenguas habladas. Cada lenguaje de señas particular (como el Lenguaje de Señas Americano) tiene una organización única, influenciada por el hecho de que se percibe visualmente. La percepción del lenguaje de señas depende de la percepción visual paralela de la forma, la ubicación espacial relativa y el movimiento de las manos, un tipo de percepción muy diferente de la percepción auditiva del lenguaje hablado (Bellugi, 1980).

En el sistema nervioso de una persona oyente, las vías del sistema auditivo parecen estar estrechamente conectadas con las regiones cerebrales que procesan las

características del lenguaje hablado, mientras que las vías visuales parecen pasar por varias etapas de procesamiento antes de que se extraigan las características del lenguaje escrito (Blakemore, 1977; Friedman y Cocking, 1986). Cuando una persona sorda aprende a comunicarse con signos manuales, diferentes procesos del sistema nervioso han reemplazado a los que normalmente se usan para el lenguaje, lo cual es un logro significativo.

Los neurocientíficos han investigado cómo las áreas de procesamiento visual-espacial y lingüístico se encuentran en diferentes hemisferios del cerebro, mientras desarrollan ciertas nuevas funciones como resultado de las experiencias de lenguaje visual. En los cerebros de todas las personas sordas, algunas áreas corticales que normalmente procesan información auditiva se reorganizan para procesar información visual. Sin embargo, también existen diferencias demostrables entre los cerebros de las personas sordas que utilizan lenguaje de señas y las que no lo usan, presumiblemente porque han tenido experiencias lingüísticas diferentes (Neville, 1984, 1995). Entre otras cosas, existen diferencias importantes en las actividades eléctricas de los cerebros de las personas sordas que usan lenguaje de señas y aquellas que no lo conocen (Friedman y Cocking, 1986; Neville, 1984). Además, existen similitudes entre los usuarios de lenguaje de señas con audición normal y los usuarios sordos de lenguaje de señas que resultan de sus experiencias comunes al participar en actividades lingüísticas. En otras palabras, tipos específicos de instrucción pueden modificar el cerebro, permitiéndole utilizar entradas sensoriales alternativas para cumplir funciones adaptativas, en este caso, la comunicación.

Otra demostración de que el cerebro humano puede reorganizarse funcionalmente por la instrucción proviene de

investigaciones sobre personas que han sufrido derrames cerebrales o que han tenido partes del cerebro removidas (Bach-y-Rita, 1980, 1981; Crill y Raichle, 1982). Dado que la recuperación espontánea es generalmente poco probable, la mejor manera de ayudar a estas personas a recuperar sus funciones perdidas es proporcionarles instrucción y largos períodos de práctica. Aunque este tipo de aprendizaje suele tomar mucho tiempo, puede llevar a la recuperación parcial o total de funciones cuando se basa en principios sólidos de instrucción. Los estudios realizados en animales con discapacidades similares han demostrado claramente la formación de nuevas conexiones cerebrales y otros ajustes, no muy diferentes a los que ocurren cuando los adultos aprenden (por ejemplo, Jones y Schallert, 1994; Kolb, 1995). Así, el aprendizaje guiado y el aprendizaje de experiencias individuales juegan roles importantes en la reorganización funcional del cerebro.

Memoria y procesos cognitivos

Las investigaciones sobre los procesos de la memoria han avanzado en los últimos años gracias al trabajo conjunto de neurocientíficos y científicos cognitivos, apoyados por tecnologías como la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética funcional (Schacter, 1997). La mayoría de los avances en la comprensión de la memoria y su relación con el aprendizaje provienen de dos grandes líneas de estudio: aquellas que demuestran que la memoria no es una estructura única, y aquellas que relacionan características del aprendizaje con la eficacia posterior del recuerdo.

La memoria no es una entidad única ni un fenómeno que ocurre en una sola área del cerebro. Existen dos procesos

básicos de memoria: La memoria declarativa, que se refiere al recuerdo de hechos y eventos, y se asocia principalmente con sistemas cerebrales que involucran el hipocampo. La memoria procedural o no declarativa, que se refiere a habilidades y operaciones cognitivas, es decir, información que no puede expresarse fácilmente en oraciones declarativas. Esta memoria se relaciona principalmente con el neoestriado (Squire, 1997).

Distintas características del aprendizaje contribuyen a que la memoria sea más duradera o más frágil. Por ejemplo, cuando se comparan los recuerdos de palabras con los recuerdos de imágenes de los mismos objetos, se observa un efecto de superioridad a favor de las imágenes. Este efecto también se mantiene si se combinan palabras e imágenes durante el aprendizaje (Roediger, 1997). Evidentemente, este hallazgo tiene una relevancia directa para mejorar el aprendizaje a largo plazo de ciertos tipos de información.

Además, las investigaciones indican que la mente no es simplemente un grabador pasivo de eventos, sino que actúa activamente tanto al almacenar como al recuperar información. Por ejemplo, hay estudios que demuestran que, al presentar una serie de eventos en un orden aleatorio, las personas tienden a reorganizarlos de forma que tengan sentido al recordarlos (Lichtenstein y Brewer, 1980). Este fenómeno de una mente activa se ilustra de manera aún más notable con el hecho de que la mente puede "recordar" cosas que en realidad no ocurrieron. En un experimento (Roediger, 1997), se entregó a personas una lista de palabras como: agrio-caramelo-azúcar-amargo-buen-sabor-diente-cuchillo-miel-foto-chocolate-corazón-pastel-tarta-pastel. Más tarde, durante la fase de reconocimiento, se les preguntó si ciertas palabras estaban en la lista. Con alta frecuencia y

fiabilidad, los sujetos afirmaron que la palabra “dulce” había estado incluida, aunque no era así. Es decir, “recordaron” algo incorrecto. Este hallazgo demuestra que la mente hace inferencias activas para dar sentido a la información. Las personas recuerdan palabras implícitas con la misma certeza que las que efectivamente aprendieron. En un acto de eficiencia y “economía cognitiva” (Gibson, 1969), la mente crea categorías para procesar la información. Así, un rasgo del aprendizaje es que los procesos de memoria generan vínculos relacionales con otra información.

Teniendo en cuenta que la experiencia modifica las estructuras cerebrales y que ciertas experiencias producen efectos específicos en el cerebro, el concepto de “experiencia” se vuelve fundamental para comprender los procesos de la memoria. Por ejemplo, cuando se les pregunta a los niños si un evento falso ha ocurrido (verificado por sus padres que no fue así), inicialmente responden correctamente que nunca les pasó (Ceci, 1997). Sin embargo, tras varias conversaciones repetidas sobre ese mismo evento falso a lo largo del tiempo, los niños comienzan a creer que sí ocurrió. Después de unas 12 semanas, incluso ofrecen relatos detallados sobre estos eventos ficticios, incluyendo a padres, hermanos y todo tipo de “pruebas”. En adultos, al repetir listas de palabras, se observa que el recuerdo de eventos no vividos activa las mismas regiones cerebrales que los eventos o palabras realmente experimentadas (Schacter, 1997). La resonancia magnética también muestra que se activan las mismas áreas cerebrales al responder sobre hechos verdaderos y falsos. Esto puede explicar por qué los recuerdos falsos pueden parecer tan reales para quien los relata.

En resumen, las categorías de palabras, imágenes y otros tipos de información que implican procesamiento

cognitivo complejo y repetido activan el cerebro. Esta activación inicia los procesos que permiten almacenar la información en la memoria a largo plazo. Los procesos de memoria tratan tanto los recuerdos verdaderos como los falsos de forma similar y, según las tecnologías de imagen, activan las mismas regiones cerebrales, sin importar si lo recordado es verdadero o no. La experiencia es clave en el desarrollo de las estructuras cerebrales, y lo que se registra como recuerdo puede incluir nuestras propias actividades mentales.

Estos aspectos de la memoria son fundamentales para entender el aprendizaje y pueden explicar por qué ciertos recuerdos persisten y otros no. Es especialmente relevante saber que la mente impone una estructura a la información que obtiene de la experiencia. Esto guarda relación con cómo se organiza la información en las habilidades de expertos, como se describe en el Libro 3: una de las principales diferencias entre un principiante y un experto es la forma en que organiza y utiliza la información. Desde una perspectiva educativa, esto refuerza la importancia de contar con un marco adecuado en el que el aprendizaje pueda desarrollarse de forma eficaz y eficiente (ver evidencia en los Libros 3 y 4).

En términos generales, la neurociencia confirma el papel central de la experiencia en la construcción de la mente, a través de la modificación de las estructuras del cerebro: el desarrollo no es simplemente el despliegue de patrones biológicos preprogramados. Además, diferentes líneas de investigación coinciden en algunas de las reglas que rigen el aprendizaje. Una de las más simples es que la práctica mejora el aprendizaje; en el cerebro, existe una relación similar entre la cantidad de experiencia en un entorno complejo y los cambios estructurales que se producen.

En resumen, la neurociencia está comenzando a ofrecer algunas ideas, aunque no respuestas definitivas, a preguntas de gran interés para los educadores. Existe evidencia creciente de que tanto el cerebro en desarrollo como el cerebro maduro se alteran estructuralmente cuando ocurre el aprendizaje. Por lo tanto, se cree que estos cambios estructurales codifican el aprendizaje en el cerebro. Estudios han encontrado alteraciones en el peso y el grosor de la corteza cerebral de ratas que tuvieron contacto directo con un entorno físico estimulante y un grupo social interactivo. Investigaciones posteriores han revelado cambios subyacentes en la estructura de las células nerviosas y de los tejidos que apoyan su funcionamiento. Las células nerviosas presentan un mayor número de sinapsis, a través de las cuales se comunican entre sí. La estructura de las propias células nerviosas también se ve alterada en consecuencia. En al menos algunas condiciones, tanto los astrocitos que brindan apoyo a las neuronas como los capilares que suministran sangre también pueden verse modificados. El aprendizaje de tareas específicas parece alterar las regiones específicas del cerebro involucradas en dicha tarea. Estos hallazgos sugieren que el cerebro es un órgano dinámico, moldeado en gran medida por la experiencia: por lo que un ser vivo hace y ha hecho.

Conclusión

Se suele argumentar que los avances en la comprensión del desarrollo cerebral y de los mecanismos del aprendizaje tienen implicancias importantes para la educación y las ciencias del aprendizaje. Además, algunos neurocientíficos han ofrecido recomendaciones que, aunque a veces con

una base científica débil, se han incorporado a publicaciones dirigidas a docentes (ver, por ejemplo, Sylwester, 1995: Cap. 7). La neurociencia ha avanzado lo suficiente como para que sea necesario reflexionar críticamente sobre la forma en que la información científica se transmite a los educadores, para asegurar que se interprete adecuadamente —distinguiendo qué hallazgos ya pueden aplicarse en la práctica y cuáles aún no.

Este libro revisa la evidencia sobre los efectos de la experiencia en el desarrollo cerebral, la capacidad del cerebro para encontrar rutas alternativas de aprendizaje, y el impacto de la experiencia en la memoria. Algunos hallazgos clave sobre el cerebro y la mente son claros y orientan las futuras investigaciones:

1. La organización funcional del cerebro y la mente depende de la experiencia y se ve beneficiada por ella.
2. El desarrollo no es un proceso biológico exclusivamente, sino que es un proceso activo que extrae información esencial de la experiencia.
3. Algunas experiencias tienen efectos más significativos durante períodos sensibles específicos, mientras que otras pueden impactar el cerebro a lo largo de toda la vida.
4. Una cuestión importante para la educación es determinar qué aprendizajes dependen de períodos críticos (como ciertos aspectos de la percepción fonémica y del aprendizaje del lenguaje) y cuáles no.

Estos hallazgos dejan en evidencia que no todas las oportunidades de aprendizaje tienen el mismo valor.

Además, el cerebro “crea” experiencias informativas a través de actividades mentales como la inferencia, la formación de categorías, etc. Estas son oportunidades de aprendizaje que pueden ser fomentadas. Por el contrario, como advirtió John Bruer (1997), es excesivo afirmar que ciertas actividades específicas llevan directamente al crecimiento neuronal (Cardellichio y Field, 1997), como han sugerido algunas interpretaciones de la neurociencia.

Referencias

Bach-y-Rita, P.

1980 Brain plasticity as a basis for therapeutic procedures. In *Recovery of Function: Theoretical Considerations for Brain Injury Rehabilitation*, P. Bach-y-Rita, ed. Baltimore, MD: University Park Press.

1981 Brain plasticity as a basis of the development of rehabilitation procedures for hemiplegia. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* 13:73-83.

Beaulieu, C., y M. Colonnier

1987 Effects of the richness of the environment on the cat visual cortex. *Journal of Comparative Neurology* 266:478-494.

Beaulieu, C., y M. Cynader

1990 Effect of the richness of the environment on neurons in cat visual cortex. I. Receptive field properties. *Developmental Brain Research* 53:71-81.

Bellugi, U.

1980 Clues from the similarities between signed and spoken language. In *Signed and Spoken Language: Biological Constraints on Linguistic Form*, U. Bellugi and M. Studdert-Kennedy, eds. Weinheim, Germany: Venlag Chemie.

Black, J.E., K.R. Isaacs, B.J. Anderson, A.A. Alcantara, y W.T. Greenough

1990 Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 87:5568-5572.

Black, J.E., A.M. Sirevaag, y W.T. Greenough
1987 Complex experience promotes capillary formation in young rat visual cortex. *Neuroscience Letters* 83:351-355.

Blakemore, C.
1977 *Mechanics of the Mind*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Bruer, J.T.
1997 Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher* 26(8)(November):4-16.

Cardellichio, T., y W. Field
1997 Seven strategies to enhance neural branching. *Educational Leadership* 54(6)(March).

Ceci, S.J.
1997 Memory: Reproductive, Reconstructive, and Constructive. Paper presented at a symposium, *Recent Advances in Research on Human Memory*, April 29, National Academy of Sciences, Washington, DC.

Chang, F.L., y W.T. Greenough
1982 Lateralized effects of monocular training on dendritic branching in adult split-brain rats. *Brain Research* 232:283-292.

Crill, W.E., y M.E. Raichle
1982 Clinical evaluation of injury and recovery. In *Repair and Regeneration of the Nervous System*, J.G. Nicholls, ed. New York: Springer-Verlag.

Eisenberg, L.
1995 The social construction of the human brain. *American Journal of Psychiatry* 152:1563-1575.

Ferchmin, P.A., E.L. Bennett, y M.R. Rosenzweig

1978 Direct contact with enriched environment is required to alter cerebral weights in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 88:360-367.

Friedman, S.L., y R.R. Cocking

1986 Instructional influences on cognition and on the brain. Pp. 319-343 in *The Brain, Cognition, and Education*, S.L. Friedman, K.A. Klivington, y R.W. Peterson, eds. Orlando, FL: Academic Press.

Gibson, E.J.

1969 *Principles of Perceptual Learning and Development*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Greenough, W.T.

1976 Enduring brain effects of differential experience and training. Pp. 255-278 in *Neural Mechanisms of Learning and Memory*, M.R. Rosenzweig and E.L. Bennett, eds. Cambridge, MA: MIT Press.

Greenough, W.T., J.M. Juraska, y F.R. Volkmar

1979 Maze training effects on dendritic branching in occipital cortex of adult rats. *Behavioral and Neural Biology* 26:287-297.

Hunt, J.M.

1961 *Intelligence and experience*. New York: Ronald Press.

Huttenlocher, P.R., y A.S. Dabholkar

1997 Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology* 387:167-178.

Jones, T.A., y T. Schallert

1994 Use-dependent growth of pyramidal neurons after neocortex damage. *Journal of Neuroscience* 14:2140-2152.

Juraska, J.M.

1982 The development of pyramidal neurons after eye opening in the visual cortex of hooded rats: A quantitative study. *Journal of Comparative Neurology* 212:208-213.

Kleim, J.A., E. Lussnig, E.R. Schwarz, T.A. Comery, y W.T. Greenough

1996 Synaptogenesis and Fos expression in the motor cortex of the adult rat following motor skill learning. *Journal of Neuroscience* 16:4529-4535.

Kolb, B.

1995 *Brain Plasticity and Behavior*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Kuhl, P.K.

1993 Innate predispositions and the effects of experience in speech perception: The native language magnet theory. Pp. 259-274 in *Developmental Neurocognition: Speech and Face Processing in the First Year of Life*, B. deBoysson-Bardies, S. deSchonen, P. Jusczyk, P. McNeilage, y J. Morton, eds. Dordrecht, NL: Kluwer Academic Publishers.

Lichtenstein, E.H., y W.F. Brewer

1980 Memory for goal-directed events. *Cognitive Psychology* 12:415-445.

Neville, H.J.

1984 Effects of early sensory and language experience on the development of the human brain. In *Neonate Cognition: Beyond the Blooming Buzzing Confusion*, J. Mehler y R. Fox, eds. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

1995 Effects of Experience on the Development of the Visual Systems of the Brain on the Language Systems of the Brain. Paper presentado en la serie *Brain Mechanisms Underlying School Subjects*, Part 3. University of Oregon, Eugene.

Newsweek

1996 How kids are wired for music, math, and emotions, por E. Begley. *Newsweek* (February 19):55-61.

1997 How to build a baby's brain, por E. Begley. *Newsweek* (edición especial de Verano):28-32.

Roediger, H.

1997 Memory: Explicit and Implicit. Paper presentado en el Symposium, Recent Advances in Research on Human Memory, National Academy of Sciences.Washington, DC.

Rosenzweig, M.R., y E.L. Bennett

1972 Cerebral changes in rats exposed individually to an enriched environment. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 80:304-313.

1978 Experiential influences on brain anatomy and brain chemistry in rodents. Pp. 289-330 in *Studies on the Development of Behavior and the Nervous System: Vol. 4. Early Influences*, G. Gottlieb, ed. New York: Academic Press.

Schacter, D.L.

1997 Neuroimaging of Memory and Consciousness. Paper presentado en el Symposium: Recent Advances in Research on Human Memory, National Academy of Sciences. Washington, DC.

Squire, L.R.

1997 Memory and Brain Systems. Paper presentado en el Symposium: Recent Advances in Research on Human Memory, National Academy of Sciences.Washington, DC.

Sylwester, R.

1995 *A Celebration of Neurons: An Educator's Guide to the Human Brain*. Association for Supervision and Curriculum Development, Alexandria, VA.

Time

1997a The day-care dilemma, por J. Collins. *Time* (Febrero 3):57-97.

1997b Fertile minds, por J.M. Nash. *Time* (Febrero 3):49-56.

Turner, A.M., and W. Greenough

1985 Differential rearing effects on rat visual cortex synapses. I. Synaptic and neuronal density and synapses per neuron. *Brain Research* 328:195-203.

Colección Cómo aprenden las personas

La colección *Cómo aprenden las personas* es la traducción al español de los textos elaborados y publicados por la National Academy of Science de Estados Unidos en dos volúmenes, en 2000 y 2008. La traducción al español ha sido realizada por el equipo de Tu Clase, de manera de apoyar el trabajo de educadores en toda América Latina.

La colección consta de los siguientes títulos

1. *Aprendizaje: de la especulación a la ciencia*
2. *Cómo los expertos se diferencian de los principiantes*
3. *Aprendizaje y transferencia*
4. *Cómo aprenden los niños*
5. *Mente y cerebro*
6. *Diseño de entornos de aprendizaje*
7. *Enseñanza efectiva: ejemplos en Historia, Matemáticas y Ciencias*
8. *Aprendizaje docente*
9. *Tecnología para apoyar el aprendizaje*
10. *Direcciones futuras para la ciencia del aprendizaje*
11. *Próximos pasos para la investigación*
12. *Contextos y cultura*
13. *Formas de aprendizaje y desarrollo del cerebro*
14. *Procesos que contribuyen al aprendizaje*
15. *Conocimiento y razonamiento*
16. *Motivación para aprender*
17. *Implicancias para el aprendizaje en la escuela*
18. *Tecnología digital*
19. *Aprendizaje a lo largo de la vida*
20. *Agenda para la investigación*