

**NEUROCIENCIA
Y EDUCACIÓN**

CEREBRO EDUCADO

Ensayos sobre la Neuroeducación

ANTONIO M. BATTRO
KURT W. FISCHER
PIERRE J. LÉNA

gedisa
editorial

Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer
y Pierre J. Léna (*comps.*)

CEREBRO EDUCADO

Ensayos sobre la neuroeducación

Presentación de la Colección Neurociencia y Educación

Las dificultades que atraviesa la educación tradicional para interactuar fructíferamente con el mundo contemporáneo exige el auxilio de ciencias que, hasta ahora, eran desatendidas en el campo pedagógico. Desde el momento en que Hart (1983), en su libro *Human Brain, Human learning*¹, observó que la estructura del enfoque tradicional del proceso de enseñanza aprendizaje contradecía lo que hasta ese momento se sabía del cerebro, la neurociencia se constituyó en el descubrimiento más novedoso de la educación.

El apabullante desarrollo de nuevas tecnologías para crear y transmitir el conocimiento, la potencialidad que estas portan para transformar la educación, la observación del impacto que su exposición tiene sobre las subjetividades de las nuevas generaciones han transformado a la neurociencia en una disciplina de ineludible consulta para pensar la educación del siglo XXI.

Como parte de la colección NEUROCIENCIA Y EDUCACIÓN ofrecemos esta serie con los aportes de quienes investigan esta relación entre neurociencia y aprendizaje.

Guillermina Tiramonti
Directora de la Colección Neurociencia y Educación

1. Hart, Leslie A. (1983), *Human Brain, Human Learning*, Longman, Nueva York.

CEREBRO EDUCADO

Ensayos sobre la neuroeducación

Antonio M. Battro,
Kurt W. Fischer y
Pierre J. Léna (*comps.*)

gedisa
editorial

Este libro está dedicado a la querida memoria
de Su Santidad, el Papa Juan Pablo II.

Título original en inglés: *The Educated Brain*
© 2008, by Pontifical Academy of Sciences and Cambridge University
Press
Syndicate of Press of the University of Cambridge, England

Traducción: Verónica Weinstabl y Servanda de Hagen
Diseño de cubierta: Silvia Ojeda

Primera edición: febrero de 2016, Buenos Aires, Argentina
Primera edición: septiembre de 2016, Barcelona, España

Derechos reservados para todas las ediciones en castellano

Las opiniones expresadas con absoluta libertad durante las presentaciones de los trabajos en la reunión sobre *La mente, el cerebro y la educación* en la Pontificia Academia de las Ciencias representan solo las opiniones de los participantes y no las de la Academia.

© Editorial Gedisa, S.A.
Avenida del Tibidabo, 12 (3°)
08022 Barcelona, España
Tel. (+34) 93 253 09 04
gedisa@gedisa.com
www.gedisa.com

Colección: Neurociencia y Educación
Directora de la colección: Guillermina Tiramonti

eISBN: 978-84-9784-971-5

Queda prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio de impresión, en forma idéntica, extractada o modificada, en castellano o en cualquier otro idioma.

Índice

PRÓLOGO	17
PREFACIO: HACIA UN NUEVO ENFOQUE PEDAGÓGICO Y DIDÁCTICO.....	21
Referencias	25

PARTE I

LA TRÍADA DE LA MENTE, EL CEREBRO Y LA EDUCACIÓN

1. Introducción: La mente, el cerebro y la educación en la teoría y en la práctica	29
<i>Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer y Pierre J. Léna</i>	
Esquema del libro	32
Parte I. La tríada de la mente, el cerebro y la educación ..	33
Parte II. Desarrollo del cerebro, la cognición y la educación	38
Parte III. El cerebro, el lenguaje y la matemática	45
Referencias	49
2. Consideraciones históricas sobre el cerebro y el <i>self</i>	51
<i>Fernando Vidal</i>	
Introducción	51
El sujeto cerebral y las <i>neurociencias</i>	52
La tendencia neurologizante	56
El cerebro, el cuerpo y el <i>self</i>	58
La revolución de la cerebralidad	63
Ontología de la cerebralidad	68
Referencias	73

3. La construcción de puentes en la neuroeducación..	79
<i>John T. Bruer</i>	
Introducción	79
El aprendizaje y la neurociencia visual	80
Modelos cognitivos y educación	87
Neurociencia cognitiva y modelos cognitivos.....	89
Conclusión	96
Referencias	96
 4. La mente, el cerebro y la conciencia	 101
<i>Jürgen Mittelstrass</i>	
Introducción	101
La carrera del problema mente-cuerpo.....	102
El <i>self</i> y su cerebro	106
Identidad y dualismo pragmático	107
La conciencia y la autocomprensión.....	111
Referencias	114
 5. Cómo comprender la mente, el cerebro y la educación como un sistema en desarrollo, complejo y dinámico: Medición, modelado e investigación.....	 115
<i>Paul van Geert y Henderien Steenbeek</i>	
Introducción	115
Características o propiedades esenciales de sistemas complejos	117
Aspectos de la complejidad en la medición del desarrollo ...	124
Aspectos dinámicos de variables psicológicas	126
Aspectos de la complejidad en la construcción de la teoría del desarrollo y verificación de hipótesis: Un estudio de caso	128
Modelo dinámico de expresión y de interacción emocionales	130
Prueba de las hipótesis de los sistemas dinámicos en un diseño de muestra estándar	136
Resultados y análisis	137
Aspectos de complejidad	138
Conclusión: La simplificación de la realidad del desarrollo debe preservar su complejidad	139
Referencias	140

PARTE II

DESARROLLO DEL CEREBRO, LA COGNICIÓN Y LA EDUCACIÓN

6. La epigénesis y la plasticidad cerebral en la educación	147
<i>Wolf Singer</i>	
Introducción	147
La representación neuronal del conocimiento	148
La evolución como proceso cognitivo	149
El desarrollo dependiente de la experiencia	151
El valor adaptativo de la selección de los circuitos epigenéticos	154
El control del desarrollo dependiente de la experiencia mediante sistemas internos de regulación	157
La importancia del descanso y el sueño en el desarrollo del cerebro dependiente de la experiencia	159
Mecanismos de aprendizaje del adulto	161
Referencias	162
 7. Cronoeducación: Cómo el reloj biológico influye en el proceso de aprendizaje	 165
<i>Daniel P. Cardinali</i>	
Introducción	165
El reloj circadiano es una de las funciones biológicas más indispensables	166
Los mecanismos circadianos están activos en los seres humanos modernos	167
El sueño-la vigilia es el ritmo circadiano más conspicuo en los seres humanos	169
El sistema circadiano influye en el proceso educativo	174
El sueño influye en gran medida en la educación	176
Los procesos (de desarrollo) relacionados con la edad ejercen una fuerte influencia en la regulación del sueño	178
Observaciones finales	182
Agradecimientos	183
Referencias	183

8. Ciclos dinámicos de desarrollo cognitivo y cerebral: cómo medir el crecimiento de la mente, el cerebro y la educación.....	187
<i>Kurt W. Fischer</i>	
Introducción	187
Ciclos de crecimiento y reglas para el cerebro y el comportamiento.....	189
Ciclos de desarrollo cognitivo	194
Ciclos de desarrollo cortical.....	199
Ciclos de aprendizaje: crecimiento inverso y microdesarrollo.....	206
Referencias	211
 9. Mecanismos del cerebro y aprendizaje de habilidades de alto nivel	 217
<i>Michael I. Posner, Mary K. Rothbart y M. Rosario Rueda</i>	
Introducción	217
Redes atencionales.....	218
Individualidad	221
Primera infancia	222
Período preescolar.....	225
Referencias	231
 10. Desarrollo del cerebro: enfoque de las imágenes funcionales en el aprendizaje y las ciencias educativas	 235
<i>Hideaki Koizumi</i>	
Introducción	235
Las bases del aprendizaje y de la educación.....	237
Definiciones biológicas del aprendizaje y de la educación....	238
Sinaptogénesis y eliminación	239
Importancia de la medición no invasiva de la función cerebral.....	241
El principio de la topografía óptica	241
Imágenes de la función cerebral en neonatos y en lactantes	242
Emoción e inteligencia.....	244
Cómo el cerebro humano encapsula la historia de la evolución.....	245
Cómo cortar cadenas de odio	245

Estudio longitudinal sobre el desarrollo de la corteza prefrontal humana	246
Cuestiones éticas suscitadas por novedosas tecnologías del cerebro	247
La ciencia del cerebro y la educación en el siglo XXI	248
Agradecimientos	250
Referencias	250

PARTE III

EL CEREBRO, EL LENGUAJE Y LA MATEMÁTICA

11. Tríptico del cerebro lector: evolución, desarrollo, patología y su intervención	257
<i>Maryanne Wolf</i>	
Introducción	257
Una visión particular de la lectura	258
Percepciones desde la evolución de la escritura	259
De la evolución al desarrollo de la lectura en el niño	263
Clasificación de subtipos: la hipótesis del doble déficit	265
Visión de la fluidez, basada en los componentes, en la intervención de la lectura	267
Intervención en la fluidez: RAVE-O	270
Resumen	272
Referencias	273
 12. La lectura y el cerebro:	
Un enfoque a través de las lenguas	277
<i>Usha Goswami</i>	
Introducción	277
La conciencia fonológica y el aprendizaje de la lectura a través de las lenguas	279
El impacto de la ortografía en la representación fonológica y las estrategias de lectura	280
Consecuencias para la dislexia	283
Déficits básicos de procesamiento auditivo en la dislexia: La hipótesis de los centros P	286
La representación neuronal del tiempo de subida	289
Conclusiones	293
Referencias	294

13. Imágenes corticales del lenguaje temprano y del desarrollo fonético obtenidas mediante el uso de la espectroscopia de infrarrojo cercano....	297
<i>Laura-Ann Petitto</i>	
Introducción	297
Nuevas contribuciones de las neuroimágenes de la EIC ...	303
Neurociencia educativa: Del laboratorio a la educación	313
Agradecimientos.....	315
Referencias	316
 14. Limitaciones cerebrales en la lectura y la aritmética: La educación como proceso de «reciclaje neuronal»	321
<i>Stanislas Dehaene</i>	
Introducción	321
1. Bases cerebrales de la aritmética	324
2. Bases cerebrales de la lectura	329
Conclusión: La educación como proceso de «reciclaje neuronal»	335
Referencias	337
 COLABORADORES	341

Prólogo

En su discurso del 10 de noviembre de 2003, ante los miembros de la Pontificia Academia de las Ciencias reunidos en Roma para celebrar el 400.º aniversario de la fundación de la Accademia dei Lincei, origen de la Academia, y en referencia a nuestra reunión sobre *La mente, el cerebro y la educación*, fuente de este libro, Su Santidad, el Papa Juan Pablo II, dijo:

Los científicos mismos perciben en el estudio de la mente humana el misterio de una dimensión espiritual que trasciende la fisiología cerebral y parece dirigir todas nuestras actividades como seres libres y autónomos, capaces de actuar con responsabilidad y amor, y dotados de dignidad. Lo demuestra el hecho de que habéis decidido ampliar vuestra investigación para incluir aspectos del aprendizaje y la educación, que son actividades específicamente humanas.

Siempre recordaremos el respaldo de Su Santidad para el desafiante trabajo de los científicos neurocognitivos involucrados en el campo de la educación, una tarea sumamente humana y humanitaria.

Los compiladores de este libro se sienten complacidos y honrados por presentar el trabajo de distinguidos científicos que fueron invitados a analizar su investigación en el taller sobre *La mente, el cerebro y la educación* celebrado en el Vaticano (7-8 de noviembre de 2003). Este volumen fue compilado a partir de los trabajos presentados por los autores, que fueron organizados en un libro que será de interés no solo para los expertos, sino también para una audiencia más amplia de educadores y de maestros. Agradecemos el esfuerzo realizado por los autores para satisfacer este objetivo más amplio más allá del estricto proceder de una reunión científica. De hecho, fue un gran honor para todos nosotros haber compartido este importante encuentro en ocasión del aniversario de la

Pontificia Academia de las Ciencias con un segundo taller avanzado dedicado a *La tecnología de las células madre y otras terapias innovadoras*. Este es un buen complemento para nuestro tema *La mente, el cerebro y la educación*, que también representa una nueva frontera científica para el nuevo siglo.

A este taller asistieron los presidentes de las academias de ciencias de muchas naciones, invitados especiales de todo el mundo y una audiencia entera de miembros de la Pontificia Academia, quienes participaron en animados debates en la Casina Pio IV, una joya del Renacimiento, en los hermosos jardines del Vaticano. Agradecemos a todos ellos y, en particular, al profesor Nicola Cabibbo, presidente de la Pontificia Academia de las Ciencias, al rector de la Academia, Monseñor Marcelo Sánchez Sorondo, y a la presidenta honoraria de nuestra reunión, profesora Rita Levi-Montalcini, por su generoso y continuo respaldo a nuestro trabajo.

Las opiniones expresadas con absoluta libertad en nuestra reunión representan solo los puntos de vista de los participantes. La Academia aprobó la siguiente declaración final:

El rápido desarrollo de las neurociencias, los avances en la investigación psicológica y educativa, y la cooperación interdisciplinaria entre estos campos de investigación conducen a una mejor comprensión del aprendizaje, la cognición, las emociones y la conciencia. La educación de los niños y, en algunos aspectos, de los adultos, con frecuencia impartida con métodos tradicionales, no debe hacer caso omiso de este progreso, a pesar de que se encuentre en una etapa inicial. La educación es un arte que necesita integrar el conocimiento científico del cerebro y la mente así como también otros aspectos sociales, políticos y éticos, a fin de abordar su objetivo sumamente complejo: a saber, criar al niño hasta que alcance su plenitud como adulto y sea una persona consciente y educada. Si consideramos los profundos cambios sociales ocurridos a través de un mundo globalizado y el impacto de las tecnologías informáticas sobre la vida humana, los cambios adecuados en la educación pueden enriquecer la vida de millones. El taller *La mente, el cerebro y la educación* abordó muchas facetas de los inmensos desafíos para la educación relacionados con el desarrollo del cerebro, la plasticidad neuronal, la psicología del desarrollo, el aprendizaje del lenguaje y la lectura, y el modelado dinámico del aprendizaje y del desarrollo. Los debates del taller convergieron en las siguientes conclusiones:

1. Las promesas de las neurociencias y de las ciencias cognitivas para una mejor comprensión de la base subyacente tras el aprendizaje se están concretando con rapidez. La investigación multidisciplinaria debería incluir a los educadores y tratar las prácticas educativas reales.
2. Dada la complejidad de la cuestión, debe tenerse cautela para evitar llegar a conclusiones apresuradas acerca de la educación, impulsadas por implicancias superficiales de hallazgos recientes, como enunciados no críticos sobre las «escuelas basadas en el cerebro».
3. No obstante, hay áreas en las que el conocimiento parece lo suficientemente sólido para respaldar conclusiones que tienen un impacto sobre el aprendizaje (por ejemplo, necesidad de sueño, aritmética, capacidad de lectura y bilingüismo) y deben considerarse con seriedad. Las relaciones entre el cerebro, la mente, la conciencia y el *self* deben explorarse con respeto sobre una base ética a fin de preservar la dignidad humana y promover la equidad. Ello puede ofrecer ricas oportunidades para ampliar la representación que los hombres y las mujeres tienen hoy de sí mismos, de sus estados de desarrollo individual y de su potencial de logro.

Agradecemos también la ayuda de muchos colegas y amigos en la compilación de este libro: La visión y la generosidad de Sarah Caro, responsable de varios libros publicados por la Cambridge University Press dedicados al nuevo campo de la mente, el cerebro y la educación, entre ellos *El cerebro educado*. A su sucesor en esta difícil tarea, Andrew Peart, y a sus colaboradores. A nuestros colaboradores, Mary Kiesling, de Cambridge, Massachusetts, y Percival J. Denham, de Buenos Aires, Argentina, quien facilitó el abundante tráfico de correos electrónicos y de documentos entre el continente americano y Europa, y colaboró con las tareas de edición y de computación necesarias para producir una versión final satisfactoria de este libro. A la iniciativa *La mente, el cerebro y la educación*, de la Facultad de Posgrado en Educación de Harvard, y a nuestros alumnos de Harvard del curso *El cerebro educado* (Battro y Fischer, 2002-2003), quienes le pusieron el nombre a este libro y nos ayudaron a preparar el taller en la Pontificia Academia de las Ciencias. Los fondos para respaldar la preparación de este libro fueron provistos por la Pontificia Academia de las Ciencias y la Facultad de Posgrado en Educación de Harvard.

Por último, agradecemos también a la Sociedad Internacional de la Mente, el Cerebro y la Educación (IMBES, por su sigla

en inglés), creada en la reunión del Vaticano, al Centro Ettore Majorana para la Cultura Científica, de Erice (Sicilia), y su presidente Antonino Zichichi; allí tuvimos el placer de invitar a varios de los autores de este libro para impartir un curso también llamado *El cerebro educado* (julio de 2005). Los jóvenes y prometedores académicos que asistieron a la conferencia en Erice marcan el camino hacia el apasionante futuro que está surgiendo a partir de la conexión de la biología y la ciencia cognitiva con la educación para obtener mayores conocimientos y mejorar la práctica educativa.

A. M. BATTRO, K. W. FISCHER Y P. J. LÉNA

Prefacio: Hacia un nuevo enfoque pedagógico y didáctico

Rita Levi-Montalcini

Los notables avances científicos de estos últimos siglos y, en particular, aquellos acaecidos desde el Renacimiento hasta nuestros días no siempre contribuyeron a un cambio sustancial en el sistema educativo, que constantemente necesita ser actualizado. En los siglos pasados, la falta total de conocimiento acerca de las estructuras y las funciones cerebrales que subyacen tras las capacidades cognitivas en el período posnatal ha influido de modo negativo en la adopción de prácticas educativas más pertinentes. En el siglo xx, ocurrieron dos eventos de importancia fundamental: la comprensión, aunque incompleta, de la actividad del órgano cerebral y, más recientemente, el formidable desarrollo de los sistemas informáticos, que han impuesto una transformación general en la vida individual de la sociedad contemporánea.

A comienzos del tercer milenio, los cambios en los estilos de vida en el ámbito mundial requieren una revisión de los sistemas pedagógicos y didácticos. Esta revisión radical es imperativa en la educación desde la más temprana niñez y la pubertad hasta la adolescencia para que los alumnos se incluyan adecuadamente en la ciencia informática. El individuo del mañana es el resultado de la actitud formadora del niño de hoy.

Los sistemas educativos actuales están muy influenciados por la actitud victoriana que se basa en el principio de que el niño puede ser objeto de recompensa o de castigo, como sucede con una mascota. ¿De qué modo el cerebro de un niño difiere del de una mascota? En ambos casos, el cerebro ha desarrollado un componente paleocortical, conocido como sistema límbico, de modos que no son sustancialmente diferentes; este sistema subyace tras las funciones emocionales, afectivas y agresivas de los procesos conductuales que han permanecido intactos durante millones de años, desde la aparición de los mamíferos hasta el *Homo sapiens*.

Los humanos difieren de los otros mamíferos en la lentitud de su desarrollo cerebral. Por ello, se vuelven más dependientes de los padres o de los educadores durante el largo período de maduración, que se extiende desde el nacimiento hasta la pubertad y más allá. Incluso si la lenta maduración de las facultades cerebrales favorece el desarrollo de un dispositivo tan estupendo y complejo como el cerebro del *Homo sapiens*, la prolongada dependencia de los padres o de aquellos que actúan como padres deja una marca permanente en las estructuras nerviosas que guían el comportamiento individual al salir de la niñez para formar parte de la sociedad humana.

Es importante darles a los niños, en los primeros años, información que puede influir mucho en sus relaciones con el mundo. En esta etapa, los adultos ejercen una influencia fundamental en los niños pequeños mediante el sistema de creencias religiosas/políticas de la tribu o del grupo social al cual pertenecen. El desprecio por lo «diferente» instalado en una edad temprana, cualquiera sea la definición de este término, produce las consecuencias trágicas de genocidios y de guerras, que incluso hoy manchan de sangre el mundo entero. La educación impuesta por estas creencias en los primeros años de vida influye en gran medida en el carácter y el comportamiento del adulto de mañana. Totalmente diferente es el desarrollo cognitivo del niño que se origina en el componente neocortical del cerebro. La neocorteza, en contraste con la paleocorteza o el sistema límbico, alcanza una elaboración notable con el pliegue de la lámina cortical que, a su vez, hace posible un aumento y una reorganización de las redes neuronales.

Durante la niñez en la escuela primaria, los niños aprenden las primeras reglas de las relaciones sociales y, en pocos meses, recorren los caminos transitados durante decenas de miles de años por sus antepasados, desde el momento en el que estos remotos predecesores descubrieron esas formidables herramientas de comunicación simbólicas que constituyen el lenguaje hablado y escrito. Con este descubrimiento, la posibilidad de intercambiar mensajes entre individuos, entre los individuos y las masas, entre aquellos que pertenecen a generaciones pasadas y aquellos que viven hoy, entre aquellos que viven hoy y las futuras generaciones, se ha multiplicado cientos de veces en nuestra especie.

Recientemente, se ha descubierto que las capacidades cognitivas ya funcionan en el cerebro del niño y que son mucho mayores de lo que se creía en el pasado. ¿Cuál es la base de esta afirmación?

Por un lado, aquellos que pertenecen a la nueva generación muestran una tendencia totalmente inesperada y natural hacia el uso de sistemas informáticos, tales como computadoras, desde los primeros años, mediante el uso de un enfoque formal-lógico.

La evolución de la informática ha revelado la enorme e increíble capacidad que tienen los niños y los preadolescentes no solo de recibir información, que en el pasado se creía un privilegio del cerebro maduro, sino también de usarla de inmediato y, entonces, incluso de superar a los adultos en forma sorprendente. La habilidad y el entusiasmo demostrados por los niños al usar la computadora es extraordinaria. La edad promedio del primer contacto con esta tecnología tiende a disminuir en forma constante.

Hoy, la tarea necesaria en los sistemas educativos y didácticos no es adoctrinar al niño y al preadolescente mediante la transmisión de conocimiento a través de libros tradicionales, sino concientizarlos acerca de sus propias capacidades y ayudarlos a utilizar estas capacidades para progresar desde la condición pasiva de «cargar» información en la memoria hasta la condición activa de aprender por experiencia directa. Esta última propiedad de aprendizaje activo proviene de los circuitos neocorticales que se desarrollan de modo exuberante desde el nacimiento y que son estimulados por los mensajes del ámbito externo.

Seymour Papert, un reconocido defensor de la nueva teoría pedagógico-didáctica, afirma que el niño tiene que ser reconocido en su papel de «productor activo» y no como «consumidor pasivo» del aprendizaje (Papert, 1992). ¿Cómo es posible llegar a una revolución que implique tal revisión integral de los sistemas pedagógicos y didácticos?

Sostengo que el uso de la computadora en las primeras etapas del desarrollo del individuo estimula la capacidad creativa del usuario joven. El aprendizaje de las matemáticas, por lo general considerada una disciplina poco agradable en los primeros años escolares, se convierte en una herramienta de pensamiento activo mediante la computadora. Las matemáticas enseñadas con métodos tradicionales son, a mi parecer, no solo difíciles de aprender, sino completamente inútiles, a causa de la falta de aplicación directa a los eventos que los jóvenes observan.

Participando con el niño en la creación de programas de computación, como videojuegos o programas de control de computadoras, y no al revés, Papert ha creado un programa llamado LOGO,

que le permite al niño usar la computadora para desarrollar actividades creativas en música, arte, juegos y otras áreas (Papert, 1980). Se ha demostrado que, con este tipo de práctica, los niños aprenden mejor y con más rapidez en comparación con los métodos escolares tradicionales.

Un ejemplo típico de la precocidad en el aprendizaje está confirmado por los resultados obtenidos en la escuela primaria Diana, de Reggio Emilia, Italia, que no solo es ampliamente reconocida en Europa, sino también es descrita como un programa modelo por el Proyecto Cero de la Universidad de Harvard en el ensayo *Making learning visible* (*Cómo hacer que el aprendizaje sea visible*), que describe la metodología y las técnicas involucradas, y el resultante aprendizaje autónomo por parte de los niños, junto con el cuidado de los maestros (Project Zero, 2001). Es tarea del maestro apoyar al niño y ayudarlo a desarrollarse como individuo. Él lo guía y, a la vez, juntos aprenden cosas nuevas.

Gracias a la computadora y a este tipo de nueva pedagogía, es posible hacer esta experiencia, según lo expresaron varios autores. Si bien el aprendizaje adquirido a partir de la lectura de libros de texto decae con el tiempo, dado que el conocimiento se olvida y solo se recupera de tanto en tanto, el conocimiento adquirido con el uso de computadoras y el aprendizaje activo pueden recordarse mejor.

El nuevo sistema didáctico no debe basarse en un triángulo maestro-libro de texto-alumno, sino, en cambio, debe construirse sobre la base de la capacidad profesional de generar un aprendizaje creativo fundamentado en un proyecto educativo desarrollado en un medio abierto, según lo propuesto por Paolo Manzelli, presidente de CreaNet (véase el Laboratorio para la Investigación Educativa, Universidad de Florencia).

Tenemos que pensar acerca de una nueva escuela, una escuela diferente. No solo tenemos que reemplazar los programas de estudio actuales, sino también cambiar los métodos de enseñanza. Este cambio ya está en funcionamiento en los Estados Unidos con resultados importantes. La «interactividad» de un nuevo sistema educativo y didáctico que conecte la escuela, los centros de investigación y la sociedad es clave para alcanzar objetivos comunitarios que se correspondan con las demandas sociales europeas.

Esta revolución cultural suscitará reacciones de apoyo y de oposición. Es interesante observar, como lo ha hecho el matemático y maestro Papert, que el uso de la tecnología informática en cam-

pos tales como la educación ha sido aceptado y aplicado con más facilidad en los llamados países en vías de desarrollo que en muchos aquellos con un nivel más avanzado, que se han caracterizado por sus tendencias conservadoras (Papert, 1996). Además, el proceso de desarrollo de nuevas tecnologías es irreversible, y el cambio es urgente: El objetivo es ver a los miembros de la nueva generación convertirse en actores y que no solo sean espectadores en el escenario mundial de la vida.

Referencias

- CreaNet Laboratory for Educational Research. Florence University
EGO-CreaNet Association, Telematic Network. Disponible
en: www.thinkquest.it/egocreanet/stating.html.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*, Nueva York, Basic Books.
- (1992). *The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*, Nueva York, Basic Books.
- (1996). *The Connected Family: Bridging the Digital Generation Gap*, Nueva York, Basic Books. Disponible en: www.ConnectedFamily.com/.
- Project Zero and Reggio Children (2001). *Making Learning Visible: Children as Individual and Group Learners*. Colaboradores: Claudia Giudici; Carla Rinaldi; Mara Krechevsky; Paola Barchi; Howard Gardner; Tiziana Filippini; Paola Strozzi; Laura Rubizzi; Amelia Gambetti; Paola Cagliari; Vea Vecchi; Giovanni Piazza; Angela Barozzi; Ben Mardell; Steve Seidel. Cambridge, Massachusetts, Reggio Emilia, Italia, Reggio Children, International Center for the Defense and Promotion of the Rights and Potential of all Children. Disponible en: www.pz.harvard.edu/Research/MLV.htm.

PARTE I

LA TRÍADA DE LA MENTE, EL CEREBRO Y LA EDUCACIÓN

1

Introducción: La mente, el cerebro y la educación en la teoría y en la práctica

Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer y Pierre J. Léna

¡Como el entomólogo a caza de mariposas de vistosos matices, mi atención perseguía, en el vergel de la substancia gris, células de formas delicadas y elegantes, las misteriosas *mariposas del alma*, cuyo batir de alas quién sabe si esclarecerá algún día el secreto de la vida mental!

SANTIAGO RAMÓN Y CAJAL (*Recuerdos de mi vida*, 1981)

Muchos científicos y educadores sienten que nos dirigimos hacia nuevas formas de conectar la mente, el cerebro y la educación (MCE). Este sentimiento surge, en parte, porque las disciplinas relacionadas con las ciencias cognitivas, la neurobiología y la educación han logrado un considerable progreso durante las últimas dos décadas, y los académicos de dichas disciplinas están comenzando a buscar interacciones entre ellas (Fischer, Bernstein e Immordino-Yang, 2006). Además, la mayor conectividad entre estas disciplinas se ha intensificado con el crecimiento de la comunicación y la información en el mundo globalizado. El «medio digital» de nuestro planeta es un nuevo fenómeno en la evolución y en la historia (Battro, 2004), como describe Rita Levi-Montalcini en el prefacio de este libro. Tenemos suerte de vivir en una época en la que los cambios en la educación pueden llegar rápidamente a la vida de millones de personas y enriquecerla. Esta posibilidad nos invita a fomentar el trabajo coordinado de científicos, docentes y estudiantes de muchas naciones, razas y religiones en el nuevo campo transdisciplinario

de la mente, el cerebro y la educación (Léna, 2002, y Koizumi, este libro).

Un nombre para esta tarea es neuroeducación (Bruer, este libro), que pone énfasis en el foco educativo de la conexión transdisciplinaria. Otro es neurociencia educativa, cuyo foco se centra en la neurociencia, a la cual se conecta la educación. Empleamos las palabras «mente, cerebro y educación» para abarcar estos dos focos y otros que reúnen la ciencia cognitiva, la biología y la educación. Por un lado, este campo emergente toca todos los niveles de la neurociencia moderna: desde las moléculas hasta los genes, desde las sinapsis hasta las redes neuronales artificiales, desde los reflejos hasta los comportamientos, desde los estudios en animales hasta las imágenes del cerebro humano (Dawson y Fischer, 1994). Por otro lado, el término «educación» es tan vasto como la cultura humana misma. Debido al proceso de globalización, que entremezcla tantas culturas, lenguajes y creencias diferentes, el campo de la mente, el cerebro y la educación se está tornando cada vez más complejo y necesariamente diverso.

No hay duda de que la educación es mucho más que sus aspectos neuronales, pero el cerebro y las ciencias biológicas pueden iluminar muchos de sus procesos y de sus métodos. Las nuevas técnicas de imágenes cerebrales y de análisis del ADN hacen que el cerebro oculto y los procesos genéticos se vuelvan cada vez más visibles. En unos pocos casos, los científicos y los educadores parecen estar a punto de poder observar los efectos de las intervenciones educativas en el procesamiento cerebral y en la expresión genética. Estos importantes avances han provocado gran excitación y han suscitado expectativas cada vez mayores en la sociedad, entusiasmada por la biología, debido al impresionante progreso que esta ha logrado en décadas recientes. Estas grandes expectativas, aunque a veces irrealistas, reflejan una genuina necesidad de progreso para mejorar la educación y hacer frente al mundo nuevo y complejo del siglo XXI, con su estallido de información y de población, y su encogimiento a causa de la comunicación y la globalización.

La necesidad de lograr un importante progreso en la educación es imperiosa. En un taller previo llamado *Los desafíos de la ciencia: la educación para el siglo XXI*, realizado en la Pontificia Academia de las Ciencias de Roma, en noviembre de 2001, se abordó el tema de la ciencia en la educación básica: ¿Cómo puede hacer frente el mundo al vacío cada vez más amplio, en casi todos los

países, entre el nivel del conocimiento científico y la tecnología, por un lado, y la alfabetización científica de la población, por el otro, independientemente del estadio de desarrollo económico? El notable éxito de la revolución científica y tecnológica del siglo xx ha suscitado un importante problema nuevo para la educación. Este taller previo y las preguntas que surgieron de él establecieron las bases para el taller sobre *La mente, el cerebro y la educación* de noviembre de 2003, que dio origen a este libro.

El tema de la formación científica y el vacío en el conocimiento es fundamentalmente importante para la justicia y la democracia, y requiere una revolución en la práctica educativa. No existe una receta mágica para el éxito en tal emprendimiento, y se están llevando a cabo una serie de exitosos experimentos en diversos países, desde los Estados Unidos hasta Brasil, desde Chile y Argentina hasta Francia, con frecuencia presentados por las academias de ciencias. Todos estos programas intentan restaurar el papel cuestionador del niño y abrir caminos para su curiosidad mediante actitudes activas, el diálogo a través del lenguaje y el contacto directo con la naturaleza por medio de la observación y los experimentos. En estos experimentos, hay mucho que aprender a partir de un mejor conocimiento del desarrollo del cerebro, del papel del estímulo y de la motivación, y de la relación entre el aprendizaje y la memoria. Es particularmente interesante la primera infancia, desde los dos hasta los seis años, donde el trabajo reciente en la psicología cognitiva muestra al niño que aprende como a un «científico» que explora y experimenta con el mundo en esta temprana edad (véase Léna, 2002).

El progreso en la mente, el cerebro y la educación requiere una colaboración genuina entre investigadores y médicos, en la que ambos grupos trabajen juntos para contribuir a la investigación y el conocimiento. La evidencia de la investigación puede iluminar la práctica educativa, y las observaciones educativas pueden aportar importantes cuestiones y conocimientos a la investigación. Nuestro primer libro para Cambridge University Press, *Mind, Brain, and Education in Reading Disorders*, se centra en la conexión de la investigación con la práctica en niños con problemas de aprendizaje. El segundo libro actual pone énfasis, en primer lugar, en una mejor investigación científica, pertinente para conectar la biología y la ciencia cognitiva con la educación. Estamos preparando un tercer libro, *Usable Knowledge in Mind, Brain, and Education*, que apun-

ta a promover un diálogo efectivo entre científicos y educadores que pueda originar conocimiento capaz de iluminar de modo directo la práctica educativa. Este es el desafío a largo plazo de este nuevo campo.

Lo que imaginamos que pasará no es un nuevo paradigma abarcador o un conjunto de investigaciones no relacionadas. En cambio, vemos cómo se desarrolla la dinámica de muchas tendencias científicas diferentes hacia la formación de nuevas redes de conocimiento. Un componente no se tragará el otro. Por el contrario, esperamos un organismo de conocimiento que crezca sano y que se alimente de todo tipo de vínculos y de funciones entre los subcomponentes dentro del sistema y fuera de él. Será el resultado de los esfuerzos de muchos equipos coordinados con propósitos y objetivos claros, un cronograma realista, un gran sentido de la aventura y un compromiso con la responsabilidad moral. Este libro es un intento de expresar esta creciente tendencia internacional y transdisciplinaria.

Esquema del libro

El libro está compuesto por tres secciones. La primera presenta un marco histórico, epistemológico y metodológico para el nuevo campo transdisciplinario de la mente, el cerebro y la educación. La segunda se concentra en la investigación que conecta la investigación de la neurociencia con el aprendizaje y la educación, incluidos los enfoques dinámicos —basados en la biología— en el cerebro y en el desarrollo cognitivo y, en especial, el impacto de las técnicas de imágenes del cerebro en la investigación y la práctica. La tercera sección revisa la investigación sobre el procesamiento del lenguaje y la matemática en el cerebro, áreas donde los avances científicos han sido sustanciales, con la promesa de establecer conexiones con la práctica educativa en un futuro no muy lejano.

Nos honra el prefacio escrito por Rita Levi-Montalcini, presidenta honoraria de nuestra conferencia sobre *La mente, el cerebro y la educación* realizada en la Pontificia Academia de las Ciencias, ganadora del Premio Nobel por su descubrimiento del factor de crecimiento nervioso y destacada personalidad en la neurociencia de nuestra época. Hace hincapié en la lenta maduración del cerebro humano así como también en el desarrollo exuberante de la neo-

corteza humana, que se relacionan con la prolongada dependencia de los niños de sus padres y sus maestros. Este período lento y prolongado de desarrollo y de aprendizaje deja una marca indeleble en las estructuras nerviosas en desarrollo del niño. Además, los investigadores han descubierto que las capacidades cognitivas que ya funcionan en el cerebro de los lactantes son mayores de lo que creíamos en el pasado. A partir de estos hallazgos, la importancia de la educación temprana se torna cada vez más evidente. En la historia reciente, la informática ha estado disponible para los niños pequeños, y ellos comenzaron a usar esta tecnología de modo activo y productivo, y se adaptaron a ella con facilidad. Las sorprendentes capacidades cognitivas de los seres humanos y la incesante proliferación de nueva información requieren una revolución en la educación. Necesitamos, por cierto, como dice Levi-Montalcini, nuevas generaciones «vestidas como actores y no como espectadores en el escenario global de la vida».

Parte I. La tríada de la mente, el cerebro y la educación

En esta sección, los autores analizan cuestiones, ventajas y obstáculos de importancia al establecer sendas convergentes hacia el campo transdisciplinario de la mente, el cerebro y la educación. Conllevan marcos históricos para comprender la naturaleza humana, los análisis epistemológicos del conocimiento del cerebro y el comportamiento humanos, y los enfoques metodológicos para enmarcar la investigación y la práctica sobre el desarrollo de la mente, el cerebro y el comportamiento.

En el capítulo «Consideraciones históricas sobre el cerebro y el *self*», Fernando Vidal, distinguido historiador de la psicología del Max Planck Institute de Berlín, describe la transición histórica de considerar el cerebro el «asiento del alma» a considerarlo el «órgano del *self*», concepto para el cual acuña el término «cerebralidad». La historia moderna de este significativo cambio conceptual se inició en el siglo XVIII, cuando el cerebro comenzó a comprenderse como el único órgano esencial para el *self*. De hecho, el reciente avance de la biología y la medicina, en particular de las neurociencias, ha reforzado la idea de un «sujeto cerebral», una persona basada en el cerebro. Muchos enigmas clásicos relacionados con este concepto (experimentos mentales o ficciones cerebrales filosóficas, como los trasplantes

de cerebro, la conservación extracorpórea, etc.) aún se utilizan en los debates actuales acerca de la identidad humana, y el concepto tiene implicancias prácticas y éticas generalizadas, como la noción de la «muerte cerebral» en la práctica médica. Vidal acuñó el nuevo término «cerebralidad» para denominar la condición de ser cerebro —el «ser humano *como* cerebro»— que brinda un amplio panorama antropológico y social y, por cierto, influirá en la educación futura de modos que hoy no podemos predecir. Esta idea de cerebralidad también inspira el trabajo de algunos artistas, como en la notable imagen de este capítulo de un «autorretrato» de Helen Chadwick: dos cuidadosas manos que sostienen un cerebro. Más importante aún es que el impacto ético de este concepto en la educación es fundamental y requiere una cuidadosa consideración de posibles observaciones, experimentos e, incluso, intervenciones y evaluaciones «no invasivas» polémicos en los cerebros de los alumnos. Grupos como el reciente Comité de Neuroética del Ministerio de Educación de Japón colaborarán para que la sociedad humana ilumine las consecuencias de este concepto de humanidad (véase Koizumi).

John Bruer, filósofo y presidente de la James S. McDonnell Foundation, ha sido una persona clave en la configuración de la investigación temprana en la neurociencia cognitiva y la educación en los Estados Unidos y el exterior. En *Building bridges in neuroeducation*, critica agudamente cómo los resultados de la neurociencia cognitiva se usan con frecuencia en la práctica y la política educativas. Uno de los usos incorrectos habituales se relaciona con un reclamo muy popular entre los educadores de que los períodos críticos mostrados en el sistema visual son el mejor modelo para explicar el desarrollo cognitivo y el aprendizaje a lo largo de la vida, afirmación que Bruer demuestra que es fundamentalmente errónea. Además, la frecuente idea de que necesitamos un metabolismo cerebral elevado y una densidad sináptica para aprender nuevos conceptos y adquirir nuevas habilidades no es coherente con los experimentos controlados. Como dice Bruer: «Depender en exceso de la neurobiología del desarrollo genera pseudoimplicancias para la enseñanza y el aprendizaje». En cambio, deberíamos seguir un enfoque más amplio en el aprendizaje, donde la experiencia previa en un campo específico es más importante que la supuesta «ventana de oportunidad» biológica o período crítico.

El análisis de Bruer es que la neurobiología puede conectarse con la educación iluminando la investigación de la ciencia cognitiva

sobre el aprendizaje y la enseñanza. Afirma que la investigación neurobiológica no puede conectarse directamente con una mejor comprensión de la educación. Utiliza el ejemplo de la matemática, en la que programas como RightStart mostraron impresionantes resultados en la enseñanza de la matemática, en especial, en niños en riesgo (Griffin, Case y Siegler, 1994), y esos resultados y conceptos cognitivos se relacionan, a su vez, con el trabajo neurocientífico de Stanislas Dehaene y colegas (Dehaene, este libro) en la representación cortical múltiple de conceptos numéricos (palabras numéricas, números arábigos y magnitudes análogas). Juntas, la investigación neurocientífica y la investigación cognitiva iluminan las sendas educativas hacia las habilidades matemáticas, pero por separado, sostiene, la investigación neurocientífica no se conecta con la educación. Pareciera que hay conexiones similares de la neurociencia con la ciencia cognitiva y, a su vez, con la educación en la investigación sobre la adquisición del lenguaje y la lectura (Dehaene, Goswami, Petitto y Wolf, este libro). Bruer llega a la conclusión de que debemos refinar nuestra estrategia de investigación neuroeducativa para conectar la neurociencia con la ciencia cognitiva y solicita mayores «interacciones recursivas» entre los campos involucrados en la investigación neurocognitiva básica y la práctica educativa.

El autoconocimiento y el cerebro son de importancia central para la filosofía, la neurociencia y la educación contemporáneas. Jürgen Mittelstrass, profesor de filosofía y director del Centro de Filosofía y Teoría de la Ciencia de la Universidad de Constanza, reconocido experto en el problema mente/cerebro, analiza desde una perspectiva crítica los diferentes marcos conceptuales del monismo y el dualismo. Propone una mediación constructivista entre «el programa de investigación abrumadoramente dualista de la filosofía y el programa de investigación abrumadoramente monista de la ciencia natural (que incluye la psicología orientada desde una perspectiva científica)». Introduce el modelo de un «dualismo pragmático» en lo que denomina la «carrera del problema mente-cuerpo». Defiende conceptos psicológicos (cognitivos) independientes sobre la base de su *valor explicativo* y rechaza la visión restrictiva del neurorreduccionismo. Quizás este modelo pragmático pueda ayudarnos a introducir, en la práctica de la educación, los términos teóricos más avanzados de la ciencia neurocognitiva moderna sin hacer una afirmación ontológica acerca de a qué se

refieren. Siempre necesitaremos la ayuda de la crítica filosófica a fin de construir un nuevo campo, como el de la mente, el cerebro y la educación. Pueden evitarse muchos errores y simplificaciones mediante el análisis y la síntesis filosóficos estrictos y rigurosos. No obstante, muchos conceptos que se están introduciendo en la neurociencia, la ciencia cognitiva y la educación son nuevos para la historia de la filosofía y deberán ser examinados cuidadosamente.

Los nuevos conceptos y las nuevas tecnologías implican el uso de nuevas metodologías de investigación. Unir la mente, el cerebro y la educación en un campo coherente requiere una profunda transformación de muchos hábitos de pensamiento y de muchos estándares tradicionales para enriquecer el alcance de la investigación psicológica y educativa en la era de la biología. El cerebro en sí mismo es un órgano muy complejo que no puede estudiarse solamente con herramientas intelectuales convencionales. En primer lugar, el análisis lineal tradicional (que ha dominado la investigación conductual y cognitiva) no puede capturar por sí solo la complejidad del cerebro, donde el todo es mucho más que la suma de sus partes. El número de conexiones en el cerebro es astronómico, el número de interacciones entre las partes en diferentes escalas de tiempo es abrumador. De todas las herramientas del equipo de herramientas científico, solo la teoría de los sistemas dinámicos tiene el potencial de capturar cómo estas partes forman este notable órgano. En segundo lugar, la mente/el cerebro, el cuerpo y el mundo son, cada uno, sistemas complejos en permanente interacción.

En este libro, Paul van Geert, profesor de psicología de la Universidad de Groningen, y su colega Henderien Steenbeek presentan un panorama general de la complejidad y el enfoque del sistema dinámico respecto del desarrollo neuropsicológico y cómo puede comenzar a aplicarse al análisis de los procesos educativos. Los autores definen cuatro características de los sistemas complejos: (1) la ausencia de linealidad y la autoorganización, (2) la superposición, (3) la sustancia frente al proceso y (4) la naturaleza multicapa y multiescala de la causalidad. La primera describe el aumento del orden y la estructura durante el desarrollo, incluida la emergencia de una nueva organización. La segunda significa que un fenómeno puede caracterizarse mediante dos propiedades (aparentemente) incompatibles a la vez, como los genes y el ámbito en el aprendizaje. La dinámica del sistema habitualmente incluye procesos contradictorios o «incompatibles». La tercera se refiere a

cómo los distintos niveles de análisis de un fenómeno se relacionan con su naturaleza aparente como una sustancia estable o un proceso variable. Por ejemplo, una habilidad individual como patear una pelota puede tratarse como sustancia en tanto es estable durante largos períodos de tiempo y, simultáneamente, conlleva un proceso, porque varía en forma intrínseca durante períodos de tiempo más cortos como una función de factores, tales como la práctica, el cansancio, la naturaleza de la pelota, el contexto del marco, etc. En cuarto lugar, las capas que van desde lo individual hasta las especies en el ser humano se organizan en estratos diferentes, como persona, grupo, sociedad y cultura. Estas capas también aparecen en las escalas de tiempo, como la del microdesarrollo, la ontogenética (del macrodesarrollo), la histórica y la evolutiva. Todas interactúan en una «causalidad mutua o recíproca», como dicen los autores.

Una consecuencia práctica de esta conceptualización de sistemas complejos es que las mediciones necesitan capturar la riqueza intrínseca de un sistema a medida que este cambia en el tiempo. Las mediciones inadecuadas tergiversan el sistema y hacen que parezca estático. Por ejemplo, aunque podamos identificar una región del cerebro correspondiente a cierta actividad mental, como leer, no podremos decir que sabemos qué es leer. Para citar al autor, «el conocimiento del cerebro agrega otra pieza al enigma de la complejidad y, de ese modo, contribuirá a resolver el enigma, [pero] no reemplaza el enigma con el cuadro real».

Van Geert y Steenbeek proponen un buen ejemplo del poder predictivo de estos modelos en un estudio de investigación acerca del modo en el que interactúan niños de diferente grado de liderazgo. Hay muchos otros ejemplos en los que el análisis de la complejidad puede predecir diversos fenómenos, incluida la emergencia repentina de conceptos nuevos, tales como la conservación de la cantidad (en el sentido de Piaget), etapas estables, habilidades fluctuantes, curvas U de aprendizaje o de desarrollo invertidas, regresiones, etc. Estas consideraciones metodológicas son de gran importancia para la educación y deben ser destacadas por los educadores del siglo XXI.

Parte II. Desarrollo del cerebro, la cognición y la educación

Uno de los grandes desafíos de la ciencia es crear vínculos entre la investigación fundamental o básica y la vida cotidiana. El éxito de las sociedades modernas se relaciona con esta iniciativa, y el éxito de la educación también. Estos grandes cambios han sido introducidos en todos los niveles del aprendizaje y la enseñanza por la computadora y las tecnologías de la comunicación y, por supuesto, los cambios incluyen el cerebro (Battro, 2002). Esperamos que la próxima frontera en la educación provenga de tecnologías que deriven de las ciencias cognitivas y del cerebro.

Junto con los cambios sociales creados por la tecnología, vienen los cambios epistemológicos creados por «abrir» y dar a conocer los mecanismos del cerebro involucrados en el proceso del conocimiento. Wolf Singer enuncia este punto desde la perspectiva de un científico del cerebro: «La búsqueda de las fuentes del conocimiento es equivalente a la búsqueda de los procesos que especifican y modifican la arquitectura funcional del cerebro». Las iniciativas científicas de explicar la neurobiología y la genética del aprendizaje y el pensamiento están causando un cambio conceptual radical, algo que solo unos pocos educadores hubieran podido imaginar varias décadas atrás. Los científicos, en la actualidad, están rastreando las fuentes del conocimiento con las múltiples y poderosas herramientas de la neurobiología y analizando las relaciones entre la genética y la epigenética, entre la filogenia y la ontogenia, y entre los diferentes niveles de aprendizaje y de memoria durante toda la vida humana.

Esta es una investigación básica, realizada por miles de talentosos científicos de todo el mundo, y en el presente, su importancia para el campo de la educación aún no está clara. Por ejemplo, uno de los manuales más importantes de las nuevas neurociencias cognitivas (Gazzaniga, 2003) ni siquiera menciona el término «educación» en su índice, mientras que el término «aprendizaje» tiene múltiples entradas. Es probable que esta omisión no indique una falta de interés personal en la educación por parte de los muchos y prominentes autores, sino que nos dice que hay un vacío científico que ha de llenarse, un nuevo campo para explorar. El espacio para trabajar con el objetivo de llenar este vacío está *más allá* del laboratorio y de sus modelos estrictos y tradicionales del aprendizaje. El nuevo «espacio de aprendizaje» para el neurocientífico es el aula. En el rico ámbito del aprendizaje y de la enseñanza de la escuela,

las neurociencias cognitivas pueden crecer para formular preguntas más profundas, más útiles y más significativas.

En el primer capítulo de esta sección, Wolf Singer, jefe del Instituto Max Planck para la Investigación Cerebral de Fráncfort, propone dos tópicos específicos en los que los académicos y los médicos pueden llenar el vacío existente entre la neurociencia básica y la práctica educativa: períodos críticos en la visión y el tiempo de sueño en centros de cuidados diurnos para bebés. (Este último también es importante para el capítulo sobre cronoeducación de Daniel Cardinali en este libro). Analiza la investigación con animales y bebés que muestra las complejas secuencias del sueño y la vigilia, y su importancia en los procesos de desarrollo, la consolidación de la memoria y la mejora en el aprendizaje. En cuanto a los períodos críticos, Singer se basa en su amplia experiencia con modelos animales, en particular, en el sistema visual, donde ha analizado el principio de que «las neuronas permanecerán conectadas si se activan juntas». En este modelo de sincronía neuronal, los circuitos son sometidos a una prueba de funcionalidad, en la que las conexiones se consolidan o se eliminan por el resto de la vida. Cuando la ventana del desarrollo se cierra, parece que las neuronas dejan de producir nuevas sinapsis, y las conexiones existentes ya no pueden eliminarse. El caso extremo es la «privación sensorial» del aporte visual: los bebés que han sufrido infecciones en los ojos y no han desarrollado un circuito visual adecuado en el nivel cortical durante el desarrollo temprano pueden quedar funcionalmente ciegos, incluso aunque sus retinas comienzan a funcionar de modo normal más adelante.

Al mismo tiempo, con frecuencia hay suficiente plasticidad en el cerebro para deshacer la aparente irreversibilidad, como analiza Bruer en su capítulo y otras publicaciones (Neville y Bruer, 2001). Incluso los cerebros adultos pueden producir neuronas y conexiones nuevas en el hipocampo y el bulbo olfativo, y quizá también en otras áreas de la corteza (Gage, 2003), fenómeno promisorio mencionado por Singer. Por supuesto, estos hechos no se traducen directamente en programas educativos, pero es probable que se descubran relaciones con la educación a medida que aumente el número de científicos involucrados en la investigación básica con un foco en la educación. Todavía necesitamos maestros y neurocientíficos que trabajen juntos para lidiar con características cruciales de la educación que aún no han sido exploradas en laborato-

rios. Esperamos que la próxima generación construya un ciclo de conexión dinámico de la neurociencia con la educación y de la educación con la neurociencia, que afecte drásticamente las opiniones y los hallazgos relacionados con la educación.

Un tópico para el cual ya existe dicho ciclo positivo es la cronoeducación. Daniel Cardinali, director del Departamento de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, es líder mundial en este campo y explica en su capítulo cómo el reloj biológico influye en el proceso de aprendizaje y afecta la educación. En primer lugar, describe los ritmos circadianos de unas 24 horas en todas las células del cuerpo, que responden a señales generadas por un marcapasos, un reloj biológico que está escrito en el circuito de retroalimentación gen-proteína-gen. En los mamíferos, un oscilador circadiano importante está ubicado en el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo y actúa como temporizador. Un agente sincronizador (*Zeitgeber*) puede reiniciar o desfasar (adelantar o atrasar) el reloj interno. Por ejemplo, la exposición a la luz durante la primera parte de la noche atrasa la fase, pero, en la segunda parte, la adelanta. En la dirección opuesta, la melatonina, el «código endógeno de la noche» (hormona producida por la glándula pineal), produce un adelanto de la fase en la primera parte de la noche y un atraso en la segunda. El círculo circadiano más conspicuo es el ritmo sueño-vigilia. Este cambia drásticamente de la niñez a la adultez de un período de entre 14 y 16 horas de sueño por día en los bebés hasta 8 horas en los adultos jóvenes.

El sueño, que es esencial para la vida, se divide en dos estados: sueño con movimiento ocular rápido (MOR) y sueño sin MOR (NMOR), que se alternan en ciclos de 90-100 minutos. Una persona de 75 años ha pasado 19 años en sueño NMOR y 6 años en sueño MOR. El estado NMOR protege las células, promueve su síntesis y produce una reducción significativa en el metabolismo del cerebro. El estado MOR, por el contrario, es antihomeostático —no puede regular la temperatura, por ejemplo—, pero puede activar el cerebro incluso más que durante la vigilia, y, en este estado, se producen sueños vívidos.

Desde el punto de vista educativo, es importante asimilar estos y otros hallazgos relacionados para proporcionar la mejor correspondencia del reloj interno con el estado de alerta, la motivación, el estado de ánimo, la disposición para aprender y la capacidad de aprender. Nuestro mundo ha cambiado hasta convertirse

en una sociedad de 24 horas, y los adolescentes de la escuela secundaria con frecuencia cambian sus horas de sueño y se acuestan muy tarde, a pesar de que deben levantarse temprano para ir a la escuela, cuando están privados de sueño. Este cambio afecta significativamente su rendimiento en cuanto al aprendizaje de muchos modos. Cardinali sugiere que, de acuerdo con el ciclo circadiano de los adolescentes, los estudiantes deberían recibir lecciones hacia la tarde, cuando sus funciones cognitivas están en su pico máximo. Se pueden elaborar muchas otras consideraciones de importancia educativa a partir de la perspectiva de la cronobiología.

El gran desafío de las ciencias neurocognitivas es lidiar con muchas escalas de espacio y de tiempo diferentes, comenzando desde lo molecular hasta lo conductual, incluidas la cognición y la emoción. Deben examinarse varios niveles de análisis para crear una integración real de las ciencias del cerebro y la educación. Un gran enigma es cómo se forman las redes neuronales y cómo se reorganizan con el aprendizaje y el desarrollo cognitivo. Desarrollar una habilidad como leer o escribir lleva años, pero solo se requiere un microsegundo para encender o apagar un receptor. Las neuronas crecen y desarrollan sinapsis para construir redes basadas, esencialmente, en la inhibición y la excitación. Este crecimiento y cambio en las redes neuronales es uno de los grandes enigmas que han de resolverse en los años venideros.

El crecimiento de las redes neuronales en la corteza y su conexión con el aprendizaje y la educación es el tema del capítulo de Kurt W. Fischer, fundador y director del programa *La mente, el cerebro y la educación* del Centro de Estudios Superiores en Educación de la Harvard University. Él dirige el primer programa de capacitación académica que, en forma sistemática y abarcadora, conecta la biología, la ciencia cognitiva y la educación. Con Antonio M. Battro, Juliana Paré-Blagoev y otros colegas, creó la Sociedad Internacional de la Mente, el Cerebro y la Educación (IMBES, por su sigla en inglés), en la sesión de trabajo de la Pontificia Academia de las Ciencias, y es el presidente de IMBES. Para construir el nuevo tipo de relación que conecta la mente, el cerebro y la educación, se requieren investigadores y médicos con conocimientos en estas tres áreas, que puedan unir la investigación y la práctica educativa en una colaboración activa.

Un ejemplo de las posibilidades y de las dificultades es el descubrimiento de sorprendentes correspondencias entre los patrones

de crecimiento de la cognición y del cerebro (Fischer y Rose, 1994). Los niños y los adolescentes demuestran claras rachas en el rendimiento cognitivo óptimo a intervalos etarios específicos desde el nacimiento hasta alrededor de los 25 años, y las propiedades en aumento muestran saltos o vacíos en el rendimiento en los mismos puntos. En paralelo y en edades similares, la actividad cortical se mueve a través de fuertes rachas y otras discontinuidades en diversas propiedades, incluida la energía y la conectividad en el electroencefalograma (EEG), e incluso la anatomía cortical muestra cambios paralelos. Esta evidencia convergente ha conducido a una escala de desarrollo que se está empleando para evaluar el aprendizaje de los estudiantes, los materiales del plan de estudios y la enseñanza de los docentes, todos en una escala común (Dawson-Tunik y Stein, 2004).

Desafortunadamente, los hallazgos acerca de las rachas de crecimiento del cerebro a veces han conducido a recomendaciones falsas para la práctica educativa basadas en sobresimplificaciones y en saltos conceptuales sin respaldo. Por ejemplo, se plantearon argumentos que afirmaban que los estudiantes no podían aprender nada nuevo cuando sus cerebros no estaban pasando por una de estas rachas, salto que no está respaldado en absoluto por la evidencia acerca del aprendizaje. La clave para crear un conocimiento utilizable en la mente, el cerebro y la educación no es simplemente aplicar la evidencia neurocientífica, sino estudiar en forma proactiva las relaciones del cerebro con el aprendizaje y el comportamiento. Los individuos no deberían saltar de los hallazgos sobre el cerebro a nuevos modelos de educación sin llevar a cabo una investigación que examine directamente las maneras en las que los niños aprenden en la escuela y en la vida cotidiana, incluido cómo su aprendizaje se relaciona con sus funciones cerebrales.

Otro enfoque a las redes neuronales se presenta en el capítulo de Michael I. Posner, profesor de la University of Oregon, escrito en colaboración con Mary K. Rothbart y M. Rosario Rueda: Ahora podemos «echar un vistazo al cerebro humano cuando las personas piensan» empleando herramientas que producen imágenes para observar la actividad cerebral. Posner es uno de los pioneros en el campo de la neuroimagen y la cognición, y él y sus colegas presentan un argumento importante acerca del papel de los genes y la experiencia en el desarrollo de las redes de atención en los cerebros de los niños en edad preescolar. Estas redes neuronales tienen

un nódulo principal en la circunvolución del cíngulo anterior y son importantes para la adquisición de nuevas habilidades cognitivas, afectivas y sociales durante la vida escolar y posteriormente. La vasta investigación ha identificado tres funciones en esta red de atención: alertar, orientar y ejercer el control ejecutivo.

Desde luego, la atención es fundamental para el aprendizaje en la escuela, dado que los estudiantes deben mantener la atención durante una tarea; pero la capacidad de concentrarse varía enormemente entre los individuos y las tareas. Un interrogante es cuánto se hereda de la atención, tema que se abordó mediante una prueba específica de atención en un estudio con mellizos monocigóticos y dicigóticos. Los datos respaldaron una función de los genes en la red de atención ejecutiva. En otros experimentos, los alelos de dos genes relacionados con la dopamina produjeron una activación diferente dentro del cíngulo anterior. Otro interrogante es cuánto los individuos pueden mejorar el funcionamiento de las redes de atención de sus cerebros. Los docentes saben bien que la capacidad de concentrarse durante largos períodos, de lidiar con el conflicto o con la ambigüedad y de abstenerse de buscar una recompensa inmediata es valiosa en el aula (y en la vida). Lleva años desarrollar estas capacidades, pero Posner y colegas han hallado resultados alentadores para el entrenamiento específico de la atención, incluso en niños de 4 años, como lo evidencian la actividad cortical y el rendimiento escolar. Se obtuvieron resultados similares en los niños con trastorno por déficit de atención y autismo. Los autores esperan que esta técnica de entrenamiento de la atención sea útil para los niños en edad preescolar, al proporcionar una especie de «apoyo cerebral» para dominar el plan de estudios. Este tipo de evidencia científica confiable es crucial para construir prácticas efectivas para mejorar la neuroeducación.

Las técnicas de imágenes del cerebro son ayudas clave en este proceso, pero, desde el punto de vista educativo, las mejores tecnologías no son prácticas, son complejas y onerosas para abordar la mayoría de los interrogantes acerca del aprendizaje en ámbitos educativos. Requieren herramientas avanzadas y sofisticadas, y un grupo completo de expertos y situaciones provocadas en las que los niños habitualmente deben sentarse o permanecer muy quietos. Estos límites de las herramientas de imágenes significan que la mayoría de las sesiones de imágenes del cerebro no se hacen en las escuelas, sino en laboratorios o en hospitales. La investigación

influirá más fácilmente en la educación cuando pueda realizarse en un ámbito natural, como un aula. Se necesitan nuevas tecnologías que puedan usarse en las escuelas y analizarse con la ayuda de los docentes.

Hideaki Koizumi, científico jefe de Hitachi y director del Programa de Ciencias y Educación del Cerebro, del Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología (MEXT, por su sigla en inglés) de Japón, describe las impresionantes hazañas logradas con una tecnología nueva y prometedora. Él y su equipo inventaron la topografía óptica (TO) (también denominada espectroscopia de infrarrojo cercano [EIC]), que utiliza luz infrarroja cercana para evaluar los cambios en la sangre de la corteza durante diversas actividades. El aparato de TO es compacto y portátil, y al individuo se le coloca una serie relativamente cómoda de fibras ópticas en el cuero cabelludo, y se lo hace sentar en una silla que le permite mayor movilidad que las técnicas generalmente utilizadas de resonancia magnética nuclear funcional (RMNf), magnetoencefalografía (MEG) o EEG. Esta libertad de movimiento relativa y esta posición presentan grandes ventajas para los niños que estudian así como también para los procesos cerebrales durante la conversación o la actividad motora y, además, la TO no es invasiva, tiene un bajo costo, bajo mantenimiento y es relativamente simple de manejar en comparación con las otras herramientas. Es probable que la TO se introduzca en la investigación en escuelas en poco tiempo. Koizumi da varios ejemplos de preguntas que la TO puede abordar acerca del cerebro mientras un estudiante realiza tareas como leer, calcular, pensar y visualizar imágenes. La TO ya ha brindado una nueva comprensión del proceso de rehabilitación neurológica en las lesiones cerebrales y la demencia, y Koizumi halla aplicaciones para las ciencias del aprendizaje y educativas, lo cual constituye un punto central en su capítulo. Asimismo, propone analizar cuestiones morales y éticas que pueden surgir del posible mal uso de estas tecnologías de imágenes cerebrales que podrían «privar a los individuos de la privacidad, debido a su potencial para revelar la mente de la persona». Promueve fervientemente la creación de comités neuroéticos para abordar estos temas, como se ha hecho en Japón.

Parte III. El cerebro, el lenguaje y la matemática

Maryanne Wolf, directora del Centro para la Investigación de la Lectura y el Lenguaje de la Tufts University y experta en el campo de la dislexia, afirma que «la esencia del cambio intelectual en la evolución humana reciente no reside en el nacimiento de estructuras nuevas en nuestro cerebro, sino, más bien, en el extraordinario potencial del cerebro para reacomodar sus sendas neuronales existentes». Leer es un ejemplo de esta capacidad humana de reacomodación mental, y cuanto más se conoce acerca del proceso de lectura del cerebro, mejor los educadores y los estudiantes pueden tratar las dificultades de la lectura, como la dislexia, una «patología cultural» común de nuestro tiempo. Desde luego, la dislexia no era un problema antes de que el texto escrito adquiriera prominencia en la cultura humana, proceso que llevó varios miles de años. Wolf analiza el notable hecho cognitivo logrado por las primeras escrituras, los sistemas cuneiforme y jeroglífico, y la pedagogía que ellos conllevaban. Es remarcable que una de las tecnologías avanzadas en la intervención disléxica (el programa RAVE-O [por su sigla en inglés] de Wolf) recuerde la naturaleza multidimensional de las palabras en sumerio antiguo. Cuando se concibió el alfabeto, comenzó solo con los sonidos vocales, como en el lenguaje ugarítico. Los griegos, mucho después, agregaron las consonantes y, entonces, pudieron describir todos los fonemas de su idioma de forma extraordinaria, reorganizando la escritura fenicia. Sin embargo, leer no era tan fácil en esos tiempos antiguos, porque las palabras no estaban separadas por espacios o por puntos, y la dirección en la que se escribían las palabras cambiaba de una línea a la otra.

En la escritura de los alfabetos modernos, la lectura es más fácil que en sumerio, pero la proeza cognitiva implicada al leer aún es considerable. En primer lugar, el niño debe aprender las reglas de la correspondencia grafema-fonema. Cualquier déficit en esta etapa fonológica puede conducir a una forma particular de dislexia que se ha llegado a comprender científicamente en años recientes, y se desarrollaron métodos de tratamiento exitosos para la mayoría de los estudiantes disléxicos. No obstante, hay otros tipos de dislexia que no pueden explicarse mediante esta causa fonológica solamente. Leer también requiere un proceso automático rápido que influye la velocidad de nombrar, que es independiente de la fonología. Un déficit en este proceso requiere

diferentes métodos de tratamiento. La Hipótesis de Doble Déficit de Wolf permite la identificación de tres categorías de dislexia: aquellos niños con una discapacidad fonológica, aquellos con una carencia de procesos automáticos rápidos y aquellos con ambos déficits. El tercer grupo tiene una profunda discapacidad de fluidez en la lectura y la comprensión, y requiere grandes intervenciones para compensarla.

De hecho, el programa RAVE-O (Recuperación, Automaticidad, Vocabulario, Elaboración de la Lengua y Ortografía) desarrollado por Wolf y colegas está construido en torno de la importancia de la velocidad de lectura, que es un poderoso predictor de la falla en la lectura entre niños con problemas de fluidez. La fluidez en la lectura requiere una fuerte interacción entre los componentes ortográficos, fonológicos, semánticos y sintácticos del lenguaje. El objetivo final del programa «no es con cuánta rapidez leen los niños, sino cuán bien comprenden y disfrutan lo que leen». Esta intervención es un buen ejemplo de cómo el conocimiento de los mecanismos cognitivo y cerebral de la lectura pueden ayudar a mejorar la educación en relación con el importante tema del alfabetismo.

Usha Goswami, profesora de la Facultad de Educación de Cambridge University, es la líder de una de las pocas iniciativas universitarias en el mundo relacionadas con la mente, el cerebro y la educación. Como experta en la adquisición del lenguaje, describe su investigación original comparando la lectura a través de distintas lenguas. Las personas usan sus mentes/cerebros para procesar lenguajes particulares en muchos ámbitos culturales y lingüísticos diversos. Goswami describe cómo los adultos analfabetos no son conscientes de los fonemas en las palabras, pero los niños aprenden los fonemas mediante las letras cuando aprenden a leer. El conocimiento de los fonemas, componente clave al leer un lenguaje alfabético, puede rastrearse como una característica universal del lenguaje. En primer lugar, antes de que se les enseñe a leer, los niños son sensibles a las sílabas y a lo que se denomina «principio» y «rima» en las palabras. Por ejemplo, en las palabras «*seat*», «*sweet*» y «*street*», el principio corresponde al sonido consonante inicial de la sílaba (s, sw y str), la rima, a la siguiente vocal y a los sonidos subsiguientes (s-*eat*, sw-*eet*, str-*eet*). Sin embargo, el principio y la rima son características relativamente amplias del sonido, mientras que las letras son unidades menores que representan unidades abstractas en la corriente del habla llamadas fonemas. Según

Goswami, el conocimiento de estas pequeñas unidades de sonido o fonemas es el resultado de aprender a leer y a escribir. Por ello, quienes todavía no saben leer muestran un bajo rendimiento en el conocimiento de los fonemas en todas las lenguas estudiadas, mientras que, por el contrario, identifican las sílabas con facilidad.

Un hallazgo importante es que la velocidad del aprendizaje y el nivel de habilidad en el conocimiento de los fonemas dependen de la ortografía de la lengua que se está aprendiendo. Los niños necesitan mapear la fonología y la ortografía en la lectura y la escritura, pero las lenguas varían ampliamente en cuanto al tipo de mapeo que respaldan. A los niños les resulta más fácil leer en lenguas con ortografías coherentes, como el español, donde una letra coherentemente se mapea con un fonema único, y la segmentación principio-rima se corresponde en forma directa con la segmentación fonémica. Las lenguas con ortografía compleja e incoherente, como el inglés, retrasan el aprendizaje de los fonemas e interfieren con él. Esta diferencia pareciera explicar el hallazgo de menos niños disléxicos en las escuelas de habla hispana que en las escuelas de habla inglesa.

Goswami sostiene que las dificultades que tienen los disléxicos al representar los patrones de sonidos de las palabras en su propio lenguaje pueden explicarse por un déficit en la cadencia rítmica. Goswami compara la detección de tiempos que determinan los ritmos del habla por parte de niños disléxicos y en niños sin dislexia, examinando tanto sus capacidades de lenguaje como los potenciales eléctricos evocados de su corteza. El resultado sugiere que «el sistema auditivo de los niños disléxicos es inmaduro y no desviado».

Laura-Ann Petitto, profesora del Departamento de Psicología, University of Toronto, es una científica pionera en el nuevo campo de la neurociencia educativa, que involucra la investigación de la neurociencia que se relaciona con las cuestiones educativas. Presenta sus hallazgos en niños jóvenes en cuanto al uso de la nueva técnica denominada ya sea espectroscopia de infrarrojo cercano (EIC) o topografía óptica (TO), que Koizumi describe en este libro. Ella muestra cómo los lactantes —antes de empezar a hablar— activan el tejido lingüístico neuronal al percibir estímulos lingüísticos, lo que sugiere que los lactantes utilizan estructuras cerebrales específicas para el lenguaje desde una etapa temprana, mucho antes de que puedan producir o entender los sonidos del lenguaje.

Comprender la función de estas áreas corticales en la adquisición del lenguaje puede mejorar la comprensión del desarrollo del lenguaje así como también la predicción temprana de las discapacidades relacionadas con el lenguaje, como la dislexia. La integración de las herramientas para la toma de imágenes del cerebro, como la EIC, con estudios conductuales y cognitivos, representa una oportunidad increíble para que los educadores obtengan nuevos conocimientos acerca de los éxitos y los problemas del aprendizaje para las habilidades importantes, como el lenguaje.

Muchas veces se nos ha preguntado: «¿Por qué la investigación del cerebro ha de ser relevante para la educación?». Al concluir este libro, Stanislas Dehaene, líder del conocido grupo de Neuroimágenes Cognitivas de Orsay, Francia, brinda una respuesta detallada y convincente a esta pregunta. Formula una comprensión del lenguaje y la aritmética basada en la biología, que proporciona nuevas comprensiones para la interpretación de las herramientas culturales de la alfabetización y la matemática, y su uso en la educación. Capacitado como matemático y también como psicólogo experimental y experto en el campo de las neuroimágenes, Dehaene analiza los hallazgos sobre la adquisición de la aritmética y la lectura para definir la educación como un proceso de reciclado neuronal. Propone una alternativa a la visión popular de que el cerebro es una máquina de aprendizaje universal, y la mente, una pizarra en blanco que ha de llenarse aprendiendo objetos culturales, tales como números y palabras. Volviendo a la afirmación de que las palabras escritas y los números son constructos culturales recientes que no se encuentran en la naturaleza, sostiene que estos objetos culturales se conectan con la historia de la evolución y del desarrollo de la mente humana para ayudar a explicar por qué la gente puede aprender a leer y a hacer operaciones matemáticas.

Los individuos han construido los sistemas culturales para leer y hacer operaciones matemáticas sobre la base de capacidades específicas del cerebro humano. La investigación demuestra que hay pequeñas áreas en la corteza de los primates y de los seres humanos que están preadaptadas para detectar la numerosidad así como también otras características relacionadas con la forma de los símbolos escritos. Asimismo, muchas especies muestran un sentido de numerosidad, e incluso los bebés humanos demuestran un protoconcepto de cantidad, que involucra el procesamiento fundamental en el lóbulo parietal (surcos intraparietales izquierdo y

derecho). En los humanos, esta ubicación funcional es estable y puede verse alterada por lesiones cerebrales en esta área, que producen acalculia (incapacidad de realizar operaciones matemáticas). Además, grupos particulares de neuronas de monos están adaptados para una numerosidad preferida de uno a cinco objetos visuales (vinculados con los números 1 al 5), y estos se sitúan en la parte análoga del lóbulo parietal.

Para las letras y las palabras, la lectura activa un área muy estable de la región visual ventral izquierda (surco occipitotemporal). Este patrón ocurre en los lectores de todas las lenguas que se han estudiado, ya sea si están usando sistemas alfabéticos de lectura o no. Una lesión en esta zona produce alexia (incapacidad de leer). Es más, en monos, los elementos de formas mínimas que se asemejan a letras alfabéticas activan neuronas occipitotemporales específicas. A partir de esta evidencia convergente, Dehaene llega a la conclusión de que «son posibles nuevas adquisiciones culturales solo en la medida en que puedan encajar dentro de las limitaciones preexistentes de la arquitectura de nuestro cerebro (que) delimita un espacio de objetos aprendibles».

De modo similar, unir la biología y la ciencia cognitiva con la educación transformará la comprensión de nosotros mismos, de nuestras herramientas y de nuestras culturas. Estas nuevas comprensiones no solo proporcionarán un conocimiento más profundo y preciso de la mente, el cerebro y la educación, sino que también conducirán a adquirir mejores herramientas para el aprendizaje y la enseñanza. El intensivo trabajo de los científicos y los educadores en este libro presagia el vasto trabajo de una amplia red de científicos y educadores en todo el mundo, testimonio de una nueva era en busca del conocimiento basado en el nuevo campo que conecta la biología, la ciencia cognitiva y la educación. Predecimos que este campo emergente contribuirá a que se realicen profundos cambios en el modo en el que enseñamos y aprendemos en el siglo XXI.

Referencias

- Battro, A. (2002). «The computer: a tool for the brain», en *The Challenges of Science: Education for the 21st Century*, Pontificia Academia de las Ciencias, Scripta varia, Vaticano.

- (2004). «Digital skills, globalization and education», en M. Suárez-Orozco y D. Baolian Qin-Hilliard (comps.), *Education, Culture, and Globalization in the New Millennium*, Berkeley, California, University of California Press.
- Dawson, G. y Fischer, K. W. (comps.) (1994). *Human Behavior and the Developing Brain*, Nueva York, Guilford Press.
- Dawson-Tunik, T. L. y Stein, Z. (2004). «Cycles of research and application in science education», en K. W. Fischer y T. Katzir (comps.), *Building Usable Knowledge in Mind, Brain, and Education*, Cambridge, Gran Bretaña, Cambridge University Press.
- Fischer, K. W., Bernstein, J. H. e Immordino-Yang, M. H. (2006). *Mind, Brain, and Education in Reading Disorders*, Cambridge, Gran Bretaña, Cambridge University Press.
- Fischer, K. W. y Rose, S. P. (1994). «Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research», en G. Dawson y K. W. Fischer (comps.), *Human Behavior and the Developing Brain* (págs. 3-66), Nueva York, Guilford Press.
- Gage, F. H. (2003). «Brain, repair yourself», *Scientific American*, 289(3), 47-53.
- Gazzaniga, M. S. (comp.) (2003). *The New Cognitive Neurosciences*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Griffin, S. A., Case, R. y Siegler, R. S. (1994). «Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure», en K. McGilly (comp.), *Classroom Lessons* (págs. 25-50), Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Léna, P. J. (2002). «Science education in France: La main à la pâte», en *The Challenges of Science: Education for the 21st Century*, Pontificia Academia de las Ciencias, Scripta varia, Vaticano.
- Neville, H. J. y Bruer, J. T. (2001). «Language processing: How experience affects brain organization», en D. B. Bailey, Jr., J. T. Bruer, F. J. Symons y J. W. Lichtman (comps.), *Critical Thinking about Critical Periods* (págs. 151-172), Baltimore, Maryland, Paul H. Brookes Publishing.
- Ramón y Cajal, S. (1981). *Recuerdos de mi vida: Historia de mi labor científica*, Madrid, Alianza Editorial; (1937), *Recollections of My Life*, Filadelfia, American Philosophical Society.

2

Consideraciones históricas sobre el cerebro y el *self*

Fernando Vidal

Introducción

Este capítulo explora algunos momentos de la historia de las ideas acerca de la conexión entre el cerebro y el self, y sugiere que estos constituyen la base —y, de hecho, las condiciones históricas e intelectuales de la posibilidad— para los proyectos, como el que inspira este libro acerca del «cerebro educado», que apuntan a integrar las neurociencias con (o en) las áreas tradicionales de las ciencias humanas. Dicha integración puede concebirse en términos reduccionistas (el área en cuestión, es decir, la educación o el psicoanálisis, ha de reformarse por completo sobre la base del conocimiento neurocientífico y ha de depender del progreso en las neurociencias) o, en términos más colaborativos (las ciencias humanas mantienen su independencia epistémica y metodológica, pero han de ser enriquecidas y en parte modificadas por información neurocientífica disponible). Si las neurociencias parecen tan cruciales se debe, en definitiva, a que —más allá de lo que es pertinente para cada área de aplicación o de cooperación— muestran la medida en la que el cerebro es un órgano fundamental para la constitución de la persona humana. El autor sugiere, no obstante, que la importancia que han adquirido las neurociencias depende, al menos en parte, de la creencia de que el cerebro es el único órgano que cada uno de nosotros necesita para ser uno mismo. Dicha creencia obviamente está respaldada por hallazgos neurocientíficos, pero no se originó a partir de ellos; por el contrario, precede el conocimiento moderno del cerebro. Esto podría sonar contraintuitivo, pero si este es de hecho el caso, la historia debería ayudarnos a comprender las raíces así

como también los valores y las creencias implícitos en el entusiasmo contemporáneo por las consecuencias de las neurociencias para otras disciplinas.

Los compiladores

El sujeto cerebral y las *neurociencias*

A fin de hablar sobre el cerebro y el *self* desde una perspectiva histórica, he hallado útil acuñar dos términos: «cerebralidad» y «sujeto cerebral». El neologismo cerebralidad (en inglés, *brainhood*) está formado por analogía con el término inglés *personhood*, o sea, la cualidad de ser persona. Dado que *personhood* es la cualidad o la condición de ser persona, *brainhood* puede usarse para hacer referencia a la cualidad o la condición de ser cerebro. Quisiera sugerir que, comenzando alrededor de la segunda mitad del siglo xx, la cerebralidad se tematizó como la propiedad definitoria del ser humano. El ser humano explícitamente se convirtió en lo que podríamos denominar un «sujeto cerebral». Desde la ciencia ficción en la literatura y las películas hasta la neurofilosofía y las prácticas de cuidado intensivo y de trasplante de órganos, se llegó a pensar que los seres humanos no solo tienen un cerebro, sino que *son* esencialmente ese órgano. Desde luego, se reconocieron muchas otras propiedades de las personas humanas. Sin embargo, en su totalidad o en parte, el cerebro se impuso como el único órgano verdaderamente indispensable para la existencia de un *self* humano y para definir la individualidad. De hecho, de modo contrario a lo que ocurre en todos los otros casos de trasplantes de órganos o de modificación corporal, se supone que si el cerebro de A es trasplantado al cuerpo de B, entonces no es B quien recibe un cerebro nuevo (como sucedería con todo otro órgano del cuerpo), sino que sería A quien obtendría un cuerpo nuevo.

Al menos en las naciones occidentales industrializadas, desde la segunda mitad del siglo xx, el sujeto cerebral ha sido una figura antropológica enormemente influyente, una que ha tenido y que tendrá consecuencias en extremo trascendentales para todo tipo de decisiones en la vida privada y la política pública (véase, por ejemplo, Blank, 1999). El sujeto cerebral presupone lo que el historiador de las neurociencias Michael Hagner ha denominado

homo cereбрalis (Hagner, 1997; véase también Breidbach, 1997a). Esta expresión captura la transformación que sufrió el cerebro durante el siglo XIX: de sede del alma, se convirtió en el órgano del *self*. La noción de sujeto cerebral también implica algo similar al «hombre neuronal» de Jean-Pierre Changeux, noción que destaca los fundamentos materiales de la identidad personal (Changeux, 1983/1997). Sin embargo, la idea de un sujeto cerebral definido por la propiedad ontológica de la cerebralidad es más amplia que la del *homo cereбрalis* y el *homme neuronal*. Designa una figura antropológica —el ser humano como cerebro— con una gran diversidad de inscripciones, encarnaciones y cristalizaciones sociales, tanto dentro como fuera de los campos filosófico, psicológico y neurocientífico. Como tal, constituye una de las condiciones de posibilidad para los proyectos que buscan acercar las neurociencias y ciertas áreas de las ciencias humanas, y reformar las últimas sobre la base del conocimiento del cerebro. Tales proyectos nuevos están en constante desarrollo.

En efecto, la aparición de campos de investigación cuyo nombre incluye el prefijo *neuro-* constituye una característica destacada en el panorama cultural actual. Aunque el prefijo se usa desde el siglo XVII, para nuestro tema el término pionero es «neurociencia», inventado a principios de la década de los sesenta. Siguiéron otros y hoy (para mencionar solo algunos) no solo hablamos de neuropediatría, neurogerontología y neurogeriatría, sino también de neuroestética, neuroeconomía, neuropsicoanálisis, neuroética, neuroteología y, por supuesto, neuroeducación. Ya sea que estos dominios crezcan hasta convertirse en verdaderas disciplinas o permanezcan como zonas de intersección o de interacción entre campos, sus nombres son, en sí, significativos. Si bien las neuronas no solo están en el cerebro, los neologismos con el prefijo *neuro-* tienden a referirse solo a ese órgano. El prefijo ciertamente facilita la creación de términos más eufónicos que las palabras derivadas de cerebro o *cerebrum*; pero también relaciona de inmediato los recientes dominios *neuro-* con las neurociencias establecidas y prestigiosas. Allí reside la eficacia promocional de los neologismos. Sin embargo, claramente la publicidad no lo es todo: el prefijo *neuro-* comunica la confianza en que el progreso de las neurociencias suscita desafíos cruciales y ofrece interesantes oportunidades para las disciplinas pertinentes.

Las áreas *neuro-* se refieren a fundamentos materiales: el cerebro en sus etapas de desarrollo temprano y tardío en el caso de

la neuropediatría y la neurogerontología, por ejemplo. La neuroteología apunta a investigar las bases neurológicas de la experiencia espiritual y mística (véanse, por ejemplo, Newberg, D'Aquili y Rause, 2001). De modo similar, según una definición, la neuroestética «busca establecer las bases biológicas y neurobiológicas de la experiencia estética»; el campo ya cuenta con un instituto en la University College de Londres y celebra conferencias anuales en Berkeley (véase www.neuroesthetics.org). (Otra cosa es la «estética neuronal», que se propone construir una estética naturalista, véanse Breidbach, 1997b, y el análisis de Kleeberg, 2004, § III). En cuanto al neuropsicoanálisis, se centra en el sustento neurológico de los procesos descritos por la teoría psicoanalítica (véanse, por ejemplo, Kaplan-Solms y Solms, 2002, así como también la publicación *Neuropsychanalysis*). La neuroeconomía, quizá la más desarrollada de las nuevas áreas (y la única en entrar en la reciente *Encyclopedia of Cognitive Science*), «investiga cómo el cerebro personificado interactúa con su ámbito externo para producir comportamientos económicos», en particular en la toma de decisiones individual (McCabe, 2003; Glimcher, 2003; Camerer, Loewenstein y Prelec, 2003); la Claremont Graduate University alberga un Centro de Estudios de la Neuroeconomía (véase <http://fac.cgu.edu/~zakp/CNS/>).

La neuroética, un área que promete ser de importancia crucial para el neurofuturo, es algo diferente. Por cierto, existe la búsqueda de la base neurológica del comportamiento moral, pero la mayoría de los trabajos tratan de las consecuencias éticas, sociales y legales del conocimiento neurocientífico y sus aplicaciones (Marcus, 2004; para la ley, véase Garland, 2004). Todas estas áreas no ponen de relieve el reduccionismo y ponen de relieve el diálogo, la interdisciplinariedad y las interacciones en dos sentidos entre las neurociencias y los otros campos. Si bien no son homogéneas y están abiertas al debate, todas manifiestan una cierta inclinación corticocéntrica y depositan —incluso con las salvedades como las que formulan los compiladores de este libro— una enorme esperanza en las técnicas de neuroimagen.

La neuroeducación no es una excepción. Como expresan los compiladores de este libro, aunque la educación es mucho más que sus aspectos neuronales, las neurociencias «pueden iluminar muchas de sus necesidades» (Battro, Fischer y Léna, este libro). La búsqueda de metodologías y de saberes destinados a transformar

el arte de la educación se remonta, al menos, al Renacimiento, y ha inspirado gran parte de la pedagogía desde los movimientos de educación progresista de principios del siglo xx. El proyecto neuroeducativo no es una excepción. Al igual que sus predecesores, asegura que el progreso de la ciencia es la condición esencial para su éxito y que las ciencias neurocognitivas algún día darán a la educación una base empírica firme que conducirá a reformas pedagógicas apropiadas.

Vale la pena mencionar que las opiniones acerca de la naturaleza y la historia de la ciencia que sustentan dicha creencia se han formulado, hasta ahora, en términos que son incoherentes con aquellos que prevalecen entre los historiadores de la ciencia, según los cuales la objetividad, la evidencia y los hechos son, en sí mismos, contruidos históricamente, están arraigados en contextos particulares y son objeto de negociación intelectual e institucional. John T. Bruer, quien ha puesto un límite a los entusiastas de la neuroeducación y criticado los intentos apresurados de conectar la neurociencia y la educación sobre la base de nociones simplistas o infundadas acerca de la lateralidad o de períodos críticos, escribía, por ejemplo, «Simplemente no sabemos lo suficiente acerca de cómo funciona el cerebro para obtener consecuencias educativas a partir de los cambios en la morfología sináptica» y llega a la conclusión de que «la [n]eurociencia ha descubierto mucho acerca de las neuronas y las sinapsis, pero no lo suficiente para guiar la práctica educativa» (Bruer, 1997, 10 y 15; véase también Bruer, 1999).

Pensar en estas cuestiones en términos cuantitativos y con la imagen de una ciencia progresivamente acumulativa en la mente apenas le hace justicia a la complejidad de los temas involucrados. Para comenzar, más significativos que la cantidad en sí misma son los tipos de conocimiento y las tecnologías que resultan pertinentes: en el caso de la educación, la neurobiología del desarrollo y las técnicas de imágenes cerebrales se han afirmado como áreas decisivas para abrir el camino hacia la intervención neuronal y neurocognitiva. La neuroeducación comparte con los otros dos neurocampos una sólida fe en que el avance de la ciencia proporcionará soluciones (o es la condición esencial para hallar dichas soluciones). Sin embargo, quizá más que otros, la neuroeducación enfatiza las relaciones en dos sentidos: los neurocientíficos deben entrar en el aula, y los maestros deben llevar sus preguntas al laboratorio. Este es un primer paso tendiente a contrarrestar su discurso cientifi-

cista formulando preguntas centrales acerca de los objetivos de la educación, la ética de la investigación y la intervención, las dimensiones política y de políticas, y el impacto de futuras reformas. En última instancia, como en los otros neurocampos, los neuroeducadores tendrán que examinar sus propios supuestos antropológicos, sus creencias sobre qué son y qué deberían ser los seres humanos y las sociedades.

La tendencia neurologizante

La tendencia neurologizante, manifiesta en la aparición de las neurociencias, se basa en suposiciones acerca de la relación entre «ser humano» y «tener cerebro», es decir, la creencia de que el cerebro (o, finalmente, un equivalente funcional) es la única parte de nuestros cuerpos en realidad irreemplazable y que necesitamos para ser nosotros mismos. En una de las historias más famosas de Roald Dahl, un hombre llamado William está dispuesto a sobrevivir la muerte de su cuerpo como un cerebro aislado. Antes de que se lleve a cabo la operación, le pide al médico que deje el nervio óptico y un ojo unidos a «él» de modo que aún pueda leer el periódico, una de sus ocupaciones favoritas. Entonces, William continúa viviendo como un cerebro que flota en una solución, con un ojo unido a él. Sin embargo, ni para William ni para el cirujano el ojo era necesario para la persistencia de William exactamente como la misma persona que era antes de que, por así decirlo, su propio cerebro lo sobreviviera (Dahl, 1960/1979). Esta fantasía corresponde a las aspiraciones reales de algunas personas: la última moda en la búsqueda de la inmortalidad a través de la «criónica», en parte impulsada por su menor costo, es la «neuropreservación», es decir, mantener el cerebro y deshacerse del resto del cuerpo (véase Alcor Life Extension Foundation, www.alcor.org?FAQs/fa02.html#neuropreservation).

Es probable que incluso algunos de los clientes de la neuropreservación y *a fortiori* muchos de quienes promueven neurologizar las ciencias humanas no se reconozcan en la ontología de la cerebralidad y rechacen la idea de que podemos ser reducidos a nuestros cerebros. Sin embargo, en una perspectiva histórica, las condiciones para el desarrollo de la tendencia en cuestión incluyen, como elemento crucial, la figura antropológica del sujeto cerebral.

Como observaron Hagner y Borck (2001, 507-508), las neurociencias difieren de las otras ramas de las ciencias de la vida, como la biología molecular, en que su éxito «no ha surgido a partir de un avance tecnológico o conceptual ni tampoco ha sido seguido, acompañado o mejorado por un flujo de desarrollos tecnológicos similarmente rico y constante». De modo recíproco, la cerebralización (o, más precisamente, la corticalización) de la noción de persona no es un resultado inevitable del progreso neurocientífico (como se sugiere en el artículo por lo demás lúcido de Zimmer, 2004). Más bien, es una suposición históricamente contingente de las neurociencias modernas. En el transcurso del siglo XVIII, el cerebro pasó a ser no solo la sede de la identidad personal, sino, más fundamentalmente aún, la única parte del cuerpo esencial para el *self*, el único órgano que necesitamos tener y que tiene que ser intrínsecamente nuestro a fin de que seamos nosotros mismos. El desarrollo de la neurología y las neurociencias en los siglos XIX y XX reforzó esta opinión temprana. Luego, en la década de los sesenta, los filósofos de la tradición analítica angloamericana analizaron la identidad personal mediante experimentos mentales que tomaron el cerebro como su objeto y convirtieron las ficciones quirúrgicas cerebrales en una herramienta conceptual indispensable para pensar la identidad personal (Ferret, 1993; Noonan, 1991; Perry, 1975).

La popularidad de las ficciones filosóficas sobre el cerebro coincidió cronológicamente con el aumento del peso simbólico, institucional y financiero de las neurociencias en el crecimiento comparativo de las áreas académicas, la distribución de recursos y la percepción pública de qué campos de investigación son más importantes para el futuro de la humanidad. La Organización Internacional de Investigación del Cerebro, organización no gubernamental reconocida por la UNESCO, fue establecida en 1960 con el objetivo de promover las neurociencias y de facilitar la capacitación y la comunicación entre científicos; en 1973, fue admitida como asociada en el Consejo Internacional de Uniones Científicas, pasó a ser miembro titular en 1993 y ha implementado Escuelas de Neurociencia anuales desde 1999 (véase www.ibro.org). Este signo temprano de crecimiento internacional de las ciencias del cerebro fue seguido, a fines del siglo XX, por vigorosos esfuerzos de divulgación y filantrópicos: el gobierno de los Estados Unidos declaró la década de los noventa como la Década del Cerebro (lcweb.loc.gov/loc/brain/), y dos grandes fundaciones estadounidenses han puesto

la investigación del cerebro y la educación pública acerca de él en el centro de sus programas. En 1992, la Fundación Charles A. Dana estableció una Alianza para el Cerebro y luego lanzó una Semana del Cerebro anual para promover el conocimiento público acerca del progreso, la promesa y los beneficios de la investigación neurocientífica (véase www.dana.org); desde el año 2000, «Unir el Cerebro, la Mente y el Comportamiento» es una de las tres áreas del programa respaldado por la Iniciativa de Ciencia del Siglo XXI de la Fundación John S. McDonnell (véase www.jsmf.org). Jean-Pierre Changeux (2000) anunció que el siglo **xxi** será el siglo del cerebro, y para el especialista de la memoria y premio Nobel Eric R. Kandel, «la neurociencia cognitiva —con su preocupación acerca de la percepción, acción, memoria, lenguaje y atención selectiva— llegará a representar, cada vez más, el foco central de todas las neurociencias» (citado en www.cogneurosociety.org/content/welcome).

Estos son solo algunos signos visibles del lugar que ocupan las neurociencias en el universo de la investigación científica contemporánea, al menos en las naciones occidentales industrializadas. Hablan no solo de la historia y la sociología de la ciencia y la medicina desde mediados del siglo **xx**, sino también acerca de lo que se imagina ser la esencia de la persona. En 1989, James D. Watson, codescubridor de la estructura del ADN y primer director del Proyecto del Genoma Humano, declaró: «Solíamos pensar que nuestro destino estaba en las estrellas. Ahora sabemos, en gran medida, que nuestro destino está en nuestros genes» (citado en Jaroff, 1989, pág. 67). Si todo sucede como fue profetizado, en el siglo **xxi** no dejaremos de ser nuestros genes, sino que nos convertiremos en nuestros cerebros. Una perspectiva histórica sobre la cerebralidad podría ayudar a anticipar y a afrontar los desafíos éticos y psicológicos que inevitablemente planteará la llegada del neuromundo.

El cerebro, el cuerpo y el *self*

La cuestión de la cerebralidad es diferente del problema de las relaciones entre el alma y el cuerpo. Para simplificarlo, podemos decir que en la cristiandad occidental hasta el Iluminismo hubo dos momentos principales y básicamente una tradición en la historia de las ideas acerca de las relaciones entre el alma y el cuerpo. Los

momentos son el aristotélico y el postaristotélico; la tradición es la de la medicina y la fisiología galénicas. En los marcos aristotélicos cristianos que dominaron el pensamiento académico hasta fines del siglo XVI, el alma se define, en palabras de Aristóteles, como la «forma» o «primera actualidad de un cuerpo natural que está potencialmente vivo» (*De Anima*, 412a20). Esto significa que no solo el alma (*psuchè*, *anima*) es un principio de vida o aquello que anima ciertos tipos de materia, sino que el alma no puede separarse en realidad del cuerpo. Las propias analogías de Aristóteles sobre este tema son elocuentes: «si el ojo fuera un animal», escribió, «entonces la vista sería su alma, ... de modo que cuando la vista se pierde, ya no es un ojo, salvo... en la forma de un ojo esculpido en piedra o un ojo pintado» (*De Anima*, 412a-413a).

El alma concebida de este modo es responsable de todas las funciones esenciales de los seres vivos. Estas se definieron como facultades o poderes, con los nombres de nutritiva o vegetativa; perceptiva o sensible; apetitiva o desiderativa; motora o locomotora; y racional o intelectual (véanse Kessler, 1990; Michael, 2000; Park, 1990). Las facultades a veces también se describieron como almas diferentes, pero el debate sobre este tema no nos concierne en este momento. Lo importante es que el alma humana tenía todas estas facultades; se decía que otros seres vivos carecían de un alma racional; y a las plantas solo se les atribuía un alma vegetativa. Todos estos organismos eran considerados animales o cuerpos con alma; y por ello, hasta fines del siglo XVII, el término psicología (en uso para 1590) o su expresión sinónima «ciencia del alma» (*scientia de anima*) designó una ciencia genérica de seres vivos, incluidas las plantas, los animales y los seres humanos (Vidal, 2006). El intelecto o el alma racional planteaban problemas particulares. Aristóteles habló de un «intelecto activo» que describió como separado, inmortal y eterno. Esta noción algo no aristotélica dio origen a siglos de debate; en el siglo XIII, sin embargo, la idea de que el alma era una sustancia unitaria y de que el alma racional era «en sí misma y esencialmente» (*per se et essentialiter*) la «forma» del cuerpo (en el sentido aristotélico) se convirtió en la doctrina oficial de la Iglesia cristiana.

Cuando los marcos aristotélicos se desintegraron, el alma dejó de ser responsable de las funciones nutritiva, vegetativa y sensible y, como en la filosofía de René Descartes, se tornó igual a la mente o al alma racional. Esta fue una transformación radical del concepto de alma y requirió que se repensara la unión del alma y

el cuerpo. En los siglos XVII y XVIII, tres posturas enmarcaron los análisis acerca de la unión alma-cuerpo (Vidal, 2003). Según el sistema de influencia física, las dos sustancias se afectan entre sí materialmente. En el ocasionalismo de Nicolas Malebranche, Dios es el agente causal de su unión. Por ejemplo, cuando el alma desea mover el cuerpo, Dios hace que se mueva. Finalmente, Gottfried Wilhelm Leibniz consideró que la relación entre el alma y el cuerpo estaba regulada, como dos relojes sincronizados a la perfección, por una armonía preestablecida. Se hizo una diferencia entre el postulado de la unión alma-cuerpo y la interacción alma-cuerpo como tema de investigación empírica. Si bien su unión se aceptaba como un hecho confirmado por la fe, la razón y el sentido interior, aunque en sí misteriosa, su interacción (*commercium*) podía elucidarse examinando el fenómeno de los seres humanos que parecían manifestar la dependencia mutua del alma y el cuerpo. Esta interacción constituía un foco principal del campo de la «psicología empírica» cuando se desarrolló en el siglo XVIII (Vidal, 2000; Vidal, 2006).

A pesar de la gran diferencia entre los períodos aristotélico y postaristotélico, la manera de ver la interacción entre el alma y el cuerpo permaneció, durante muchos siglos, casi sin cambios, basada en teorías fisiológicas derivadas de Galeno, filósofo y físico griego del siglo II (Temkin, 1973). Sobre la base de ideas más antiguas atribuidas a Hipócrates, médico griego nacido alrededor de 460 a. c., Galeno propuso entender la salud como un equilibrio entre los cuatro líquidos principales o «humores» del cuerpo. Estos humores —la sangre, la bilis amarilla, la bilis negra y la flema— están compuestos por mezclas de los cuatro elementos (fuego, aire, agua y tierra) y comparten sus cualidades básicas (caliente, frío, húmedo y seco). Las prescripciones terapéuticas, dietéticas e higiénicas para una vida sana se basan en consideraciones que apuntan a mantener el equilibrio de los humores. En cada individuo, estos están presentes en diversas proporciones y mezclas que determinaron el llamado «temperamento». Se decía que los temperamentos, a su vez, dictan lo que ahora llamaríamos la personalidad y las capacidades individuales, idea expresada en el título del influyente tratado de Galeno *Quod animi mores corporis temperamenta sequantur* («Que las facultades del alma siguen los temperamentos del cuerpo»). El punto esencial para nuestro propósito actual es que el ser humano se definió como un compuesto de dos sustancias, cuerpo y alma, íntimamente conectadas y en constante interacción.

La interacción misma fue explicada de una manera puramente fisiológica. Según Galeno, el cuerpo incluye tres sistemas: el cerebro y los nervios; el corazón y las arterias; el hígado y las venas. La sangre, que se forma en el hígado, es transportada por las venas al resto del cuerpo, es consumida por los órganos y transformada en diversos «espíritus» o en líquidos cada vez más sutiles y poco espesos. Primero se convierte en un «espíritu natural», responsable de la nutrición y el crecimiento. En los pulmones, la sangre se combina con el aire; luego, pasa al corazón, y una porción de ella se convierte en el «espíritu vital» del cual se suponía que dependían las funciones motora y vital. La última transformación de la sangre ocurre en el cerebro, donde se convierte en el «espíritu animal» necesario para las funciones sensibles e intelectuales. Las cualidades de estos espíritus, como su temperatura o su densidad, están estrechamente relacionadas con las de los humores. Por ejemplo, si la sangre de una persona está demasiado fría, sus espíritus animales también estarán fríos, y los actos mentales que dependen de ellos serán débiles y lentos. Se cree que los espíritus animales residen y se mueven entre los ventrículos del cerebro que (como se ilustra de adelante hacia atrás en la Figura 2.1) operaban como el asiento del «sentido común» donde se reunía la información sensorial, la imaginación y la fantasía, el juicio y el intelecto, y la memoria (Clarke y Dewhurst, 1972; Harvey, 1975; Kemp, 1990).

El cerebro funciona aquí como la fábrica de los espíritus animales, pero son estos espíritus mismos, junto con el resto de los humores, los que determinan el carácter y las capacidades de la persona. Por ejemplo, en su conocido *Examen de ingenios para las ciencias* de 1575, el médico español Juan Huarte de San Juan siguió el *Quod animi mores* de Galeno y explicó que hay una correspondencia entre la humedad y la memoria, la sequedad y la comprensión, el calor y la imaginación. Las diferencias individuales de estas facultades, por lo tanto, dependían de las cualidades físicas del cerebro, es decir, de su temperatura y su grado de humedad y de sequedad.

En los siglos XVII y XVIII, la teoría humoral perdió algo de terreno frente a las alternativas mecanicista y solidista, pero continuó siendo en extremo influyente. En cuanto a lo referente a la interacción entre el alma y el cuerpo, y en especial las funciones cognitivas, los nervios ganaron nueva significancia. Fueron concebidos como fibras sólidas y elásticas o como tubos huecos. En ambos

casos, constituyeron el intermedio entre el cuerpo y el alma; su función está resaltada por el hecho de que algunos autores (como el naturalista y filósofo ginebrino Charles Bonnet) ubicaron el asiento del alma en un punto conjetural dentro del cerebro, donde convergirían los nervios. Incluso de modo más sustancial que en el marco galénico, donde los humores y el temperamento desempeñaban un papel crucial, el cerebro se convirtió en el órgano del *self* y fue esencial para la ciencia en desarrollo de la psicología empírica. Dos de los pensadores psicológicos más importantes del Iluminismo, el médico escocés David Hartley en su *Observations on Man, His Frame, His Duty, and His Expectations* (*Observaciones sobre el hombre, su deber y sus esperanzas*, de 1749) y Bonnet en su *Essai de psychologie* (*Ensayo de psicología*, 1754) y *Essai analytique sur les facultés de l'âme* (*Ensayo analítico sobre las facultades del alma*, 1760), elaboraron psicologías que destacaron la función de los nervios y del cerebro en la formación de hábitos, los mecanismos de asociación y el desarrollo de conceptos a partir de las impresiones de los sentidos.

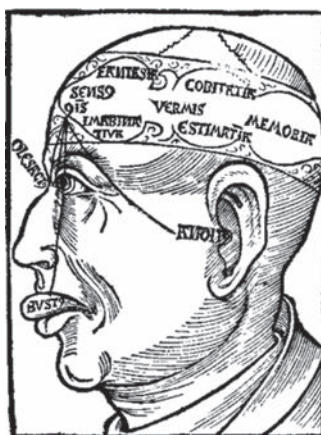


Figura 2.1 Descripción de la «teoría celular» de la función mental. La lengua, la nariz y el oído están conectados con el «sentido común» en el ventrículo anterior, que también encierra la fantasía y la imaginación. De Hieronymus Brunschwig, *The Noble Experience of the Vertuous Handy Warke of Surgeri* (Londres, 1525), publicado por primera vez en alemán, en 1497.

Principalmente por razones técnicas, sin embargo, el cerebro siguió siendo, durante muchos siglos, el órgano del cuerpo más difícil de examinar desde una perspectiva científica (Brazier, 1988; Clarke y O'Malley, 1968; Clarke y Jacyna, 1987; Corsi, 1990; Finger, 1994; Neuburger, 1897/1981). Por lo tanto, la cerebralización o la neurologización de la psicología no se debieron, en realidad, a lo que uno genuinamente podría calificar como avances en el conocimiento de la estructura y la función cerebral. Un factor crucial fue precisamente la revolución antropológica que intenté capturar con el término *cerebralidad*. Y ahora nos debemos avocar a esta revolución.

La revolución de la cerebralidad

A pesar de la importancia del cerebro en la fisiología galénica y, luego, en la neuropsicología del Iluminismo, la emergencia de la ontología de la cerebralidad depende de otros factores científicos y filosóficos. A fin de comprender estos factores, debemos recordar, primero, algo esencial acerca de la cristiandad como tradición religiosa: el hecho de que se base en el misterio de la Encarnación, es decir, que el Cristo fue Dios hecho carne. Hubo, por cierto, debates tempranos acerca de la naturaleza del cuerpo de Cristo y acerca de la relación exacta entre su naturaleza humana y su naturaleza divina. No obstante, la postura que se convirtió en la oficial fue que Cristo tenía un cuerpo completamente humano y que era tanto Dios como hombre. A partir de ello, se desprende el principio básico de la antropología cristiana, que es que una persona humana solo puede existir como cuerpo.

Con frecuencia, se ha dicho que la cristiandad ve al individuo como una dualidad, dividido entre un alma inmortal que ha de elevarse y redimirse, y un cuerpo perecedero que ha de mortificarse y despreciarse. Sin embargo, desde un punto de vista antropológico, sostiene lo opuesto a lo que expresa la ficción de Descartes sobre un *self* incorpóreo en la primera de sus *Meditaciones acerca de la Filosofía Primera* (1641). La idea de que, para la tradición cristiana, «ser humano significaba una mente corporizada» (Porter, 1991, 212) es imprecisa. La expresión habitual «*self* corporizado» conlleva la idea de un *self* (potencialmente) descorporizado. La cristiandad, sin embargo, rechaza la posibilidad de que exista una persona de

otro modo que no sea como un compuesto de cuerpo y alma. Como expresó el teólogo Antoine Vergote, una persona «no es alguien que tiene un cuerpo, sino que es [alguien] cuya existencia es corpórea»; «el cuerpo es el hombre en su totalidad» (Vergote, 1979, 96 y 97; véanse también Bynum, 1995; Keenan, 1994).

Esta antropología tiene consecuencias radicales, la más misteriosa de ellas quizá sea la doctrina de la resurrección del cuerpo. Nuevamente, hubo debates en los primeros siglos de la cristiandad, pero la postura oficial fue que tanto la identidad corpórea como la psicológica de los individuos resucitados será la misma que la de las personas que eran cuando estaban vivas. «Identidad», en el sentido del pronombre reflexivo latino *ipse*, por lo tanto requiere la «igualdad» en el sentido de *idem* (usado cuando dos predicados se refieren al mismo sujeto o en la comparación «igual que...»). Hay algunos problemas complicados en esta opinión. Algunos fueron planteados a principios de la cristiandad y preocuparon a los pensadores hasta el siglo XVIII (Vidal, 2002). Se trataba de preguntas tales como: si toda nuestra carne ha de ser restaurada en nuestros cuerpos resucitados, ¿qué sucede con toda la materia que perdemos y reemplazamos a lo largo de nuestras vidas? O, más drásticamente: si uno es comido por un caníbal que asimila su carne con la carne propia, ¿dónde va a terminar la carne asimilada, en el cuerpo resucitado del caníbal o en el de uno?

Estas preguntas expresaban un problema ontológico. La doctrina de la resurrección afirma que nuestros cuerpos resucitados serán «espirituales» y estarán dotados con algunas cualidades especiales. A la vez, sostiene que los cuerpos resucitados permanecerán «numéricamente» idénticos a los cuerpos de carne que poseíamos durante nuestra vida en la tierra, es decir, idénticos no solo cualitativamente, sino en su materia física. Entre los cristianos, la cuestión nunca fue si la resurrección tendrá lugar o si, como personas resucitadas, de hecho seremos nosotros mismos. La dificultad conceptual fue imaginar la igualdad del *self* corpóreo y su relación con lo que ello significa para nosotros. ¿Los cuerpos resucitados serán numéricamente idénticos a los cuerpos terrenales correspondientes? Si así fuera, ¿cómo? Si no fuera así, ¿de qué dependerá su identidad cualitativa? El problema de la resurrección destaca, por tanto, el principio de la antropología cristiana, es decir, que el cuerpo es la persona en su totalidad, que no hay algo así como una existencia humana descorporizada, y para que cada uno de noso-

tros seamos nosotros mismos, tenemos que tener nuestros cuerpos, no solo cualquier cuerpo, sino el nuestro. A fines del siglo xvii, sin embargo, esta opinión se reconsideró y se cuestionó.

En lo que se refiere a nuestro tópico, tres procesos interrelacionados comenzaron en el contexto de la Revolución Científica: una relativa desencarnación de la noción de persona, la psicologización de la identidad personal y la mayor focalización del cuerpo en el cerebro. Dos componentes de lo que entonces se denominaba «nueva filosofía» se combinaron para dar origen a una primera forma de cerebralidad: la teoría corpuscular de la materia y la teoría de la identidad personal de John Locke. La filosofía corpuscular (que fue la que abrazó Isaac Newton, por ejemplo) explica los fenómenos de la naturaleza mediante el movimiento, la figura, el reposo y la posición de partículas de materia intercambiables. Las diferencias entre los cuerpos físicos no derivaron de la naturaleza de su sustancia, sino de las propiedades mecánicas de sus partículas componentes. Ello tuvo una consecuencia inmediata y explícita para la doctrina de la resurrección, es decir, que los cuerpos resucitados ya no tenían que estar formados exactamente por la misma materia que los cuerpos terrenales correspondientes. La continuidad material perdió su importancia como elemento constitutivo de la identidad personal; y ello, como aclaró enseguida el filósofo John Locke, se aplicó no solo a las personas resucitadas, sino a la persona en general.

En la segunda edición de su *Ensayo sobre el entendimiento humano* (1694/1988, Libro 2, cap. 27), Locke propuso separar la sustancia y la identidad personal. Su teoría comienza con la distinción entre hombre y persona. La identidad del hombre, escribe Locke, consiste en «una participación de la misma vida continua, en una sucesión unida vitalmente al mismo cuerpo organizado»; por lo tanto, si el alma de Heliogábalo fuera transportada a uno de sus cerdos, nadie diría «ese cerdo era un hombre o Heliogábalo» (§ 6). En contraste, Locke definió a la persona como «un ser pensante, que posee razón y reflexión, y puede considerarse a sí mismo como sí mismo, la misma cosa pensante, en tiempos y lugares diferentes» (§ 9). La identidad personal, por lo tanto, reside en una continuidad de memoria y de conciencia, en lo que Locke denominó «la igualdad de un ser racional: y [agregó] en la medida en la que esta conciencia pueda extenderse hacia atrás hasta cualquier acción o pensamiento pasados, hasta allí llega la identidad de esa persona» (§ 9). La

identidad personal, explicó, depende exclusivamente de la «misma conciencia que hace que un hombre sea él mismo para sí mismo», y ello, independientemente de las sustancias a las que la conciencia podría estar «unida» (§ 10). Se desprende que el *self* (que para Locke es aquello que menciona la palabra «persona», § 26) también depende de la conciencia y no de la sustancia. Por lo tanto, el filósofo imagina que si me cortan el meñique de la mano y mi conciencia permanece con él, «es evidente que el meñique sería la persona, la misma persona; y el *self* entonces no tendría nada que ver con el resto del cuerpo» (§ 17). En esta perspectiva de individualismo posesivo, no decimos que «somos» cuerpos, sino que «tenemos» cuerpos; objetivados y distanciados de nuestros «*selves*», nuestros cuerpos se convierten para nosotros en cosas que poseemos, no en entidades que somos (Taylor, 1989). La identidad personal, entonces, se torna psicológica y distinta de la identidad corporal.

En comparación con el énfasis previo en la corporalidad esencial del *self*, el enfoque lockeano implica una pérdida obvia del cuerpo. Pero este tipo de desencarnación no podría ser total. En las ficciones de Locke, la memoria y la conciencia necesarias para la identidad aún estaban apegadas a un meñique. En la psicología empírica del Iluminismo, se localizaron en el cerebro. Por lo tanto, se siguió sosteniendo que un alma descorporizada separada no podía, en sí misma, constituir lo que Locke denominó un hombre. La pregunta era, ¿qué parte de nuestro cuerpo necesitamos para ser nosotros mismos? Y la respuesta fue que, para ser una persona, todo lo que un individuo necesita es su propio cerebro, el que encierra su memoria y su conciencia. El resto del cuerpo es desechable, y cuando está, ya no tiene que ser el propio de la persona. No es sorprendente que las ciencias del cerebro no se hayan involucrado directamente con dichas cuestiones. Tres debates internos las han dominado desde fines del siglo XVIII. Uno es el debate mente-cerebro, monismo-dualismo. La pregunta aquí es si la cognición y el comportamiento en general, por un lado, y, por el otro, el cerebro como su base material, pueden ser considerados, de algún modo, entidades separadas, o si la mente y sus funciones pueden reducirse al cerebro. El segundo debate opuso el localismo y el holismo, y la pregunta aquí era si las neuronas y las diferentes áreas del cerebro tienen funciones específicas, o si el cerebro funciona como una totalidad integrada. El tercero se refiere a la naturaleza de la conciencia y cómo podría despertarla el cerebro. En este aspecto,

la recurrencia del término «alma» en las neurociencias y la neurofilosofía contemporáneas probablemente no sea una simple figura retórica o un enunciado irónico (como en Crick, 1994), sino el signo de un problema fundamental que ha de resolverse.

El siglo XIX ofrece muchos signos de la emergencia del sujeto cerebral. La frenología es el ejemplo más familiar (Clarke y Jacyna, 1987; Renneville, 2000; véase <http://pages.britishlibrary.net/phrenology>). Basada en las teorías del físico vienés Franz Joseph Gall (1758-1828), la frenología era a la vez una psicología de las facultades, una teoría del cerebro y un método para evaluar los caracteres y las capacidades de los individuos. Se basaba en varias premisas: que el cerebro es el órgano de la mente; que la mente está compuesta por facultades innatas; que cada facultad tiene su propio asiento u «órgano» en el cerebro; que el tamaño de un órgano es proporcional a la fuerza de la facultad correspondiente; que el cerebro adquiere su forma a partir del crecimiento diferencial de estos órganos y, finalmente, que debido a que el cráneo debe su forma al cerebro subyacente, su superficie o sus «irregularidades» revelan las aptitudes y las tendencias psicológicas de un individuo.

Aunque los supuestos cerebro-órganos resultaron imaginarios, la frenología fue el primer sistema en atribuir cualidades y comportamientos psicológicos a regiones localizadas de la corteza cerebral, y algunas de sus premisas fueron confirmadas en la segunda mitad del siglo XIX, cuando se lograron avances fundacionales, en especial respecto de las localizaciones y la citoarquitectura del cerebro (o arquitectura celular del cerebro, incluido el descubrimiento de la neurona). Estos descubrimientos fueron impulsados (y, obviamente confirmados) por la idea de que el cerebro es el órgano del *self*. Esta creencia se materializó en la investigación de los cerebros de genios, criminales y enfermos mentales cuyas cualidades en extremo positivas o negativas se suponía que estaban inscritas en sus cerebros (véase, por ejemplo, Hagner, 2004). Desde esa época, la suposición neurofilosófica de una correlación entre los estados del cerebro y los estados psicológicos no ha perdido nada de su fascinación; por el contrario, su atracción se ha incrementado gracias a la difusión de técnicas de neuroimágenes que generan fotografías cuya belleza dinámica e inmediatez aparente, supuesta legibilidad y atractivo intuitivo les confieren el estado de hechos convincentes acerca de quiénes somos (Dumit, 2003, 2004).

Ontología de la cerebralidad

Los avances esbozados anteriormente conspiraron para causar la aparición del *homo cereбрalis* y *l'homme neuronal*, así como también para provocar la creencia implícita de que un ser humano, para ser persona, no necesita más que su cerebro. No obstante, una ontología de la cerebralidad se cristalizó recién en la década de los sesenta, en ciertos debates filosóficos acerca de la identidad personal. Estos debates se caracterizaron por el uso de experimentos imaginarios análogos a los empleados por John Locke en su *Ensayo*, salvo que los experimentos ahora involucraban el cerebro. Según mi entender, la primera instancia puede hallarse en *Self-Knowledge and Self-Identity*, libro publicado en 1963 por el filósofo Sidney Shoemaker de la Cornell University.

En el contexto de analizar los criterios corporales y psicológicos de la identidad personal, Shoemaker presentó uno de los argumentos de Locke, que denominó «argumento de cambio de cuerpo». Locke había destacado que si el alma de un príncipe, «que llevaba con ella la conciencia de la vida pasada del príncipe», se transfería al cuerpo de un zapatero, y el cuerpo del zapatero era abandonado por su propia alma, sería obvio que lo que aún tiene el aspecto del zapatero «sería la misma persona que el príncipe, responsable solo de las acciones del príncipe» (Locke, 1694/1988, 2.27.15). Como observa Shoemaker (1963, 22), la idea de Locke es que «una persona podría dejar de tener el cuerpo que había sido “suyo” en el pasado y llegar a tener un cuerpo diferente».

El filósofo entonces pasa a imaginar que la medicina ha desarrollado una técnica de «extracción del cerebro», de modo que un cerebro puede extirparse del cráneo de una persona para examinarlo u operarlo, y luego colocarlo de nuevo en el cráneo. Un día, un cirujano descubre que un asistente, mientras volvía a colocar en su lugar los cerebros del señor Brown y el señor Robinson después de su extracción, los había intercambiado. Uno de los dos hombres muere de inmediato, pero el otro sobrevive. Tiene el cuerpo de Robinson y el cerebro Brown; por lo tanto, Shoemaker propone, llamémoslo «Brownson». Cuando Brownson vuelve en sí y se mira, se siente totalmente pasmado por el aspecto de su cuerpo y sostiene que su cuerpo es el cadáver del señor Robinson, que yace en una cama cercana. Cuando le preguntan su nombre, responde «Brown», reconoce a la esposa y a la familia de Brown, y puede describir

eventos de la vida de Brown. De hecho, despliega todos los rasgos de personalidad y otras características fisiológicas que habían caracterizado a Brown.

Shoemaker observa con razón que muchos de nosotros nos sentiríamos fuertemente inclinados «a decir que, si bien Brownson tiene el cuerpo de Robinson, en realidad es Brown». No obstante, su comentario acerca de esta situación es que «sería absurdo sugerir que la identidad del cerebro es nuestro criterio de identidad personal». En realidad, «si al recobrar la conciencia, Brownson actuara y hablara igual que Robinson siempre lo había hecho en el pasado, con seguridad nadie diría que este hombre, que se ve, actúa y habla como Robinson y tiene el que siempre ha sido el cuerpo de Robinson, en realidad debe ser Brown en vez de Robinson, porque tiene el cerebro de Brown». Shoemaker entonces llega a la conclusión de que la relación entre el estado del cerebro y las características psicológicas propias es «causal y contingente», pero «no lógicamente necesaria». El hecho de que Brownson tenga el cerebro de Brown «hace su afinidad psicológica con el viejo Brown... causalmente inteligible... Sin embargo, no puede ser en sí misma nuestro fundamento para decir... que Brownson es Brown». O, si lo decimos, entonces estamos permitiendo que los criterios psicológicos de la identidad personal invaliden «el hecho de la no identidad corporal» (todas las citas son de Shoemaker, 1963, 24-25). Los críticos han observado que al hablar de «la no identidad corporal» y llamando a este argumento «argumento de cambio de cuerpo», Shoemaker trata un cuerpo descerebrado como si fuera el cuerpo *tout court*, haciendo caso omiso por completo del hecho de que el cerebro es parte del cuerpo (Ferret, 1993, 77). Y, sin embargo, pocas figuras del pensamiento en este ámbito son más comunes que la dicotomía cuerpo-cerebro, como en «El cerebro, y no el cuerpo, hace que los atletas se sientan cansados» (Randerson, 2004).

A raíz de Shoemaker, se tornó inevitable recurrir a las ficciones sobre cirugías del cerebro a fin de debatir la identidad personal. El cerebro emergió como el límite somático del *self*, de modo que dejo de ser (yo mismo) si me amputan el cerebro. Los criterios psicológicos y corporales pueden combinarse en la siguiente fórmula: una persona A es idéntica a una persona B si y solo si A y B tienen uno y el mismo cerebro funcional (Ferret, 1993, 79). Esta definición, que reduce el cuerpo relevante al cerebro, puede tomarse como el axioma de la cerebralidad.

Si se la comprende de este modo, la cerebralidad tiene innumerables materializaciones culturales fuera de la filosofía y las ciencias humanas y de la vida: en la ética médica (que se ocupa de temas tales como la muerte cerebral, las técnicas de intervención del cerebro y los injertos neurales); en la teología y la religión (que abarcan no solo la «neuroteología» o la búsqueda de la base neurocientífica de la espiritualidad y la experiencia religiosa, sino también cuestiones tales como si la resurrección del cuerpo no debería volverse a concebir como la resurrección del cerebro) y, por último, en la galaxia cada vez más vasta de las neurocreencias y las neuroprácticas que van desde aprender cómo dibujar o sentir con un lado del cerebro, a diversas formas de neurosalubridad y neuroesoterismo. El trabajo del sociólogo-antropólogo de la ciencia Joseph Dumit muestra cómo las técnicas de neuroimágenes dan lugar a una «imagen digital de la categoría de la persona» y alteran las vidas y la autopercepción de los individuos mediante lo que denomina «autoconstitución objetiva» (Dumit, 1997, 2004). Por último, estudios recientes acerca de las prácticas de modificación del cuerpo sugieren que, si bien el cuerpo extracerebral es considerado un sitio fundamental de la identidad personal y, por lo tanto, el vehículo para transformarse a uno mismo, las prácticas en cuestión también implican una actitud hacia el cuerpo que lo convierte en algo que poseemos, no en algo que somos (Andrieu, 2002; Featherstone, 2000; Le Breton, 2002). Incluso si la cuestión mente-cerebro se suspendiera o se resolviera efectivamente gracias a una noción unitaria (por ejemplo, «cerebro mental»), es probable que la cerebralidad continúe siendo una suposición tácita. Resulta muy significativo, por ejemplo, que en el argumento contra el escepticismo, el filósofo de Harvard Hilary Putnam (1981, cap. 1) imaginara la siguiente situación: Mientras usted dormía, un científico le quitaba el cerebro, lo colocaba en una cuba y lo conectaba a una computadora que le enviaba a las extremidades de sus nervios los tipos de señales que habitualmente llegan a su cerebro. Cuando usted se despierta, todo se ve como siempre, salvo que usted no es más que un cerebro en una cuba. No importa aquí cómo Putnam saca conclusiones antiescépticas de este experimento mental (él sostenía que si uno en realidad fuera un cerebro en una cuba, uno no podría pensar que uno es un cerebro en una cuba). Lo que importa es cuán obvia parece la elección del cerebro, como si in-

vestigar los problemas del autoconocimiento implicara, de modo natural y necesario, la cerebralidad.

Hasta ahora, ha habido varias formas de matizar o de resistir la ontología de la cerebralidad; y es crucial enfatizar que ninguna de ellas requiere negar el papel obviamente fundamental del cerebro. Un enfoque se ilustra en el libro *Real People* (1988) de Kathleen Wilkes, cuya crítica de los experimentos mentales no evita que dedique muchas páginas al cerebro, con un énfasis en la necesidad de no sobresimplificar la información científica y no reducir el cerebro a la corteza cerebral. Otro enfoque ha sido el de Paul Ricoeur. En su opinión, las ficciones cerebrales neutralizan el cuerpo y lo limitan al cerebro, a costas del *self* como carne (*soi comme chair*). El cerebro, observa, es diferente del resto del cuerpo en el sentido de que carece de «estado fenomenológico». De hecho, si bien tenemos una «relación vivida» con otros órganos de nuestro cuerpo, ya sea estén relacionados con el movimiento (la mano), la percepción (el ojo), la emoción (el corazón) o la expresión (la voz), ninguna experiencia del mismo tipo se aplica al cerebro (Ricoeur, 1990, 159; 378 para «el *self* como carne»). Un tercer enfoque ha sido el del fallecido neurocientífico Francisco Varela. Comenzando con una crítica de la ecuación cerebro-cuerpo y del neuroreduccionismo eliminativo (según el cual no hay estados mentales, únicamente hay estados neuronales), elaboró una «neurofenomenología» que apunta a integrar en las neurociencias la experiencia subjetiva (Varela, 1996; Varela, Thompson y Rosch, 1991; Petitot y cols., 2000).

Creo que estas reacciones frente a la cerebralidad van en buen camino. Los estudios de la cerebralidad, sin embargo, apenas han comenzado, y la totalidad de la historia y de las consecuencias del sujeto cerebral aún no ha sido explorada. La tarea no es fácil, dado que, por cierto, no podemos estar sin al menos una porción de nuestros cerebros y dado que, a su vez, la cerebralidad funciona como condición existencial en la que todos estamos inmersos; ya dicta el momento de nuestra muerte —aunque no sin problemas (Schlich y Wiesemann, 2001)— y configurará, cada vez más, con beneficios y riesgos, el curso de gran parte de nuestras vidas. A la vez, en tanto la cerebralidad constituya una visión acerca de qué son los humanos, es una creación humana desprovista de necesidad inherente, solo otra instancia del antiguo impulso de atribuir autoridad moral a la naturaleza (Daston y Vidal, 2004). Comprender y aceptar la ontología de la cerebralidad es una tarea futura a largo plazo.

Aquí, no puedo hacer más que indicar en forma indirecta mis preferencias y ofrecer un emblema de los desafíos que, a mi entender, debemos afrontar.

En 1991, la fallecida Helen Chadwick creó una obra de arte deslumbrante (Figura 2.2).

Se trata de una fotografía, impresa en una placa de vidrio e iluminada desde atrás. Su desconcertante título es *Autorretrato*. Con «una elegancia maravillosamente contraria» (Warner, 1996, [1]), Chadwick substituyó con un cerebro la cara de los autorretratos tradicionales; de este modo, parece estar diciendo: «Soy mi cerebro». El cerebro descrito, sin embargo, no podía ser el cerebro propio de la artista; por el contrario, las manos, otro elemento tradicional de los autorretratos, de hecho son de ella, con su forma única y sus marcas y adornos característicos. Ellas sostienen el cerebro con un delicado gesto que lo presenta como en un acto de ofrecimiento o de devoción, casi una imposición de manos, sacralizando su significancia y anunciando su fragilidad en lo que es un retrato del *self*. Sin embargo, la presencia de las manos, el intrincado tejido de fondo de color carne similar al cerebro, nos remite al cuerpo entero de la artista, a su artesanía, su individualidad, su historia, sus lazos contextuales y personales. Helen Chadwick declaró: «Quiero que el cuerpo sea tanto un sitio de victoria como el cerebro» (citado en Warner, 1989, 58). Su autorretrato, entonces, claramente no dice: «Soy mi cerebro». En cambio, muestra, en realidad, que el cerebro es el centro de la obra de arte, pero también que la persona que creó la obra no puede reducirse a su cerebro.

Ello es coherente con el espíritu con el que este libro explora la neuroeducación. Las breves consideraciones históricas sobre el cerebro y el *self* que se presentan aquí, sin embargo, muestran que dicha postura no es la única, y que ella, en sí misma, es el resultado de una evolución histórica y de una actitud reflexiva hacia los desafíos de las neurociencias. Dichas consideraciones esbozan el tipo de ámbito en el que está creciendo el proyecto neuroeducativo y podrían ayudar a sus actores a permanecer sensibles a su contexto y sus dimensiones antropológicos. Los educadores en el campo podrían sentir que la parte de «arte» de la educación siempre superará la parte de «ciencia». Sin embargo, el problema podría ser cómo conseguir la armonía entre ellos y cómo pensar la contribución de la neurociencia a la educación en términos que no sean la cantidad de datos disponibles acerca de la estructura y la función



Figura 2.2 Helen Chadwick, *Autorretrato* (1991). © Propiedad de Helen Chadwick. Cortesía de Zelda Cheattle Gallery.

del cerebro. Ello se debe a que, como parece sugerir la historia de la cerebralidad y del sujeto cerebral, la manera en la que las neurociencias afectarán la educación dependerá menos de la información técnica que de las decisiones informadas y, es de esperarse, sabias, morales, filosóficas y políticas acerca de qué es ser humano y cómo debe organizarse la sociedad humana.

Referencias

- Andrieu, B. (2002). *La nouvelle philosophie du corps*, Ramonville, Éditions Érès.
- Blank, R. H. (1999). *Brain Policy: How the New Neuroscience Will Change Our Lives and Our Politics*, Washington, DC, Georgetown University Press.

- Brazier, M. A. B. (1988). *A History of Neurophysiology in the Nineteenth Century*, Nueva York, Raven Press.
- Breidbach, O. (1997a). *Die Materialisierung des Ichs. Zur Geschichte der Hirnforschung im 19. und 20. Jahrhundert*, Fráncfort, Suhrkamp.
- (1997b). «Einleitung: Neuronale Ästhetik-Skizze eines Programms», en O. Breidbach (comp.), *Natur der Ästhetik-Ästhetik der Natur*, Viena/Nueva York, Springer.
- Bruer, J. T. (1997). «Education and the brain: A bridge too far», *Educational Researcher*, 26(8), 4-16.
- (1999). «In search of... brain-based education», *Phi Delta Kappan*. Disponible en: www.pdkin-tl.org/kappan/kbru9905.htm.
- Bynum, C. W. (1995). «Why all the fuss about the body? A Medievalist's perspective», *Critical Inquiry*, 22, 1-33.
- Camerer, C., Loewenstein, G. y Prelec, D. (2003). «Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics». Disponible en: <http://sds.hss.cmu.edu/faculty/Loewenstein/downloads/neurojep.pdf>.
- Changeux, J. P. (1983/1997). *Neuronal Man. The Biology of Mind*, trad. Laurence Garey, Princeton, Princeton University Press, 1997.
- Changeux, J. P. (2000). «La révolution des neurosciences» [entrevista], *Label France*, n.º 38. Disponible en: www.france.diplomatie.fr/label_france/France/D0SSIER/2000/09neuro.html.
- Clarke, E. y Dewhurst, K. (1972). *An Illustrated History of Brain Function*, Berkeley, California, University of California Press.
- Clarke, E. y Jacyna, L. S. (1987). *Nineteenth-Century Origins of Neuroscientific Concepts*, Berkeley, California, University of California Press.
- Clarke, E. y O'Malley, C. D. (1968). *The Human Brain and Spinal Cord*, Berkeley, California, University of California Press.
- Corsi, P. (comp.) (1990). *La fabrique de la pensée. La découverte du cerveau de l'art de la mémoire aux neurosciences*, Milán, Electa.
- Crick, F. (1994). *The Astonishing Hypothesis. The Scientific Search for the Soul*, Nueva York, Scribner.
- Dahl, R. (1960/1979). «William and Mary», en Roald Dahl, *Tales of the Unexpected*, Harmondsworth, Penguin Books.
- Daston, L. y Vidal, F. (comps.) (2004). *The Moral Authority of Nature*, Chicago, University of Chicago Press.

- Dumit, J. (1997). «A digital image of the category of the person. PET scanning and objective self-fashioning», en G. L. Downey y J. Dumit (comps.), *Cyborgs & Citadels. Anthropological Interventions in Emerging Sciences and Technologies*, Santa Fe, Nuevo México, School of American Research Press.
- (2003). «Is It Me or My Brain? Depression and Neuroscientific Facts», *Journal of Medical Humanities*, 24(1/2), 35-47.
- (2004). *Picturing Personhood. Brain Scans and Biomedical Identity*, Princeton, Princeton University Press.
- Eickmeier, J. (1004). «Make your brain feel younger». Disponible en: www.prevention.com/article/0,5778,s1-5-91-276-2889-1,00.html.
- Featherstone, M. (comp.) (2000). *Body Modification*, Londres, Sage.
- Ferret, S. (1993). *Le philosophe et son scalpel. Le problème de l'identité personnelle*, París, Éditions de Minuit.
- Finger, S. (1994). *Origins of Neuroscience. A History of Explorations into Brain Function*, Nueva York, Oxford University Press.
- Garland, B., (comp.) (2004). *Neuroscience and the Law. Brain, Mind, and the Scales of Justice*, Nueva York, Dana Press.
- Glimcher, P. (2003). *Decisions, Uncertainty, and the Brain. The Science of Neuroeconomics*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Hagner, M. (1997). *Homo cerebralis. Der Wandel vom Seelenorgan zum Gehirn*, Berlín, Berlín Verlag.
- Hagner, M. (2004). *Geniale Gehirne. Zur Geschichte der Elitenhirnforschung*, Berlín, Wallstein.
- Hagner, M. y Borck, C. (2001). «Mindful practices: on the neurosciences in the twentieth century», *Science in Context*, 14(4), 507-510.
- Harvey, R. (1975). *The Inward Wits. Psychological Theory in the Middle Ages and the Renaissance*, Londres, Warburg Institute.
- Jaroff, L. (1989). «The gene hunt», *Time Magazine*, 20 de marzo, 62-67.
- Kaplan-Solms, K. y Solms, M. (2002). *Clinical Studies in Neuro-Psychoanalysis: Introduction to a Depth Neuropsychology*, Nueva York, Karnac Books (2.^a ed.).
- Keenan, J. F. (1994). «Christian perspectives on the human body», *Theological Studies*, 55, 330-346.
- Kemp, S. (1990). *Medieval Psychology*, Nueva York, Greenwood Press.

- Kessler, E. (1990). «The intellectual soul», en Schmitt y cols. (1990).
- Kleeberg, B. (2004). «Vor der Sprache. Naturalistischer Konzepte objektiver Wahrnehmung», en F. Crivellari, K. Kirchmann, M. Sandl y R. Schlögl (comps.), *Die Medien der Geschichte. Historizität und Medialität in interdisziplinärer Perspektive*, Constanza, UVK Verlagsgesellschaft.
- Le Breton, D. (2002). *Signes d'identité. Tatouages, piercings et autres marques corporelles*, París, Métailié.
- Locke, J. (1694/1988). *An Essay Concerning Human Understanding*, Peter H. Nidditch (comp.), Oxford, Clarendon Press.
- Marcus, S. J. (comp.) (2004). *Neuroethics. Mapping the Field*, Nueva York, Dana Press.
- McCabe, K. (2003). «Neuroeconomics», en L. Nadel (comp.), *Encyclopedia of Cognitive Science*, Londres, Nature Publishing Group, vol. 3.
- Michael, E. (2000). «Renaissance theories of body, soul, and mind», en J. P. Wright y P. Potter (comps.), *Psyche and Soma. Physicians and Metaphysicians on the Mind-Body Problem from Antiquity to Enlightenment*, Oxford, Clarendon Press.
- Neuburger, M. (1897/1981). *The Historical Development of Experimental Brain and Spinal Cord Physiology Before Flourens*, anotado y traducido por Edwin Clarke, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Newberg, A., D'Aquili, E. y Rause, V. (2001). *Why God Won't Go Away. Brain Science and the Biology of Belief*, Nueva York, Ballantine Books.
- Noonan, H. (1991). *Personal Identity*, Londres, Routledge.
- Park, K. (1990). «The organic soul», en Schmitt y cols. (1990).
- Perry, J. (comp.) (1975). *Personal Identity*, Berkeley, California, University of California Press.
- Petitot, J., Varela, F., Pachoud, B. y Roy, J. M. (comps.) (2000). *Naturalizing Phenomenology. Issues in Contemporary Phenomenology and Cognitive Science*, Stanford, Stanford University Press.
- Porter, R. (1991). «History of the body», en Peter Burke (comp.), *New Perspectives on Historical Writing*, Pensilvania, Pennsylvania State University Press.
- Putnam, H. (1981). *Reason, Truth, and History*, Nueva York, Cambridge University Press.

- Randerson, J. (2004). «Brain not body makes athletes feel tired», *New Scientist*, 29 de julio. Disponible en: www.newscientist.com/article.ns?id=dn6208.
- Renneville, M. (2000). *Le langage des crânes. Une histoire de la phrénologie*, París, Les Empêcheurs de tourner en rond.
- Ricoeur, P. (1990). *Soi-même comme un autre*, París, Seuil.
- Schlich, T. y Wiesemann, C. (comps.) (2001). *Hirntod. Zur Kulturgeschichte der Todesfeststellung*, Fráncfort, Suhrkamp.
- Schmitt, C. B., Skinner, Q., Kessler, E. y Kraye, J. (comps.) (1990). *The Cambridge History of Renaissance Philosophy*, Nueva York, Cambridge University Press.
- Shoemaker, S. (1963). *Self-Knowledge and Self-Identity*, Ithaca, Cornell University Press.
- Taylor, C. (1989). *Sources of the Self. The Making of the Modern Identity*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press.
- Temkin, O. (1973). *Galenism. Rise and Decline of a Medical Philosophy*, Ithaca, Cornell University Press.
- Varela, F. (1996). «Neurophenomenology: a methodological remedy to the hard problem», *Journal of Consciousness Studies*, 3, 330-350.
- Varela, F., Thompson, E. y Rosch, E. (1991). *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Vergote, A. (1979). «The body as understood in contemporary thought and biblical categories», *Philosophy Today*, 35, 93-105.
- Vidal, F. (2000). «The eighteenth century as ‘century of psychology’», *Annual Review of Law and Ethics*, 8, 407-434.
- (2002). «Brains, bodies, selves, and science. Anthropologies of identity and the resurrection of the body», *Critical Inquiry*, 28(4), 930-974.
- (2003). «Soul», en Kors, A. C. (comp.), *Encyclopedia of the Enlightenment*, Nueva York, Oxford University Press.
- (2006). *Les sciences de l’âme, XVI-XVIII siècle*, París, Champion.
- Warner, M. (1989). «In the garden of delights», en H. Chadwick, *Enfleshings*, Nueva York, Aperture.
- (1996). «In extremis: Helen Chadwick & the wound of difference», en H. Chadwick, *Stilled Lives*, Edimburgo, Portfolio Gallery/Odense, Kunsthallen Brandts Klædefabrik.

- Wilkes, K. V. (1988). *Real People. Personal Identity Without Thought Experiments*, Oxford, Clarendon Press.
- Zimmer, C. (2004). «A distant mirror for the brain», *Science*, 303, n.º 5654 (2 de enero), 43-44.

3

La construcción de puentes en la neuroeducación

John T. Bruer

Introducción

La mente, el cerebro y las iniciativas de la educación deberían construir puentes entre los educadores y los científicos conductuales, cognitivos y neurobiológicos. Algunos puentes son robustos, y otros son problemáticos. Los vínculos del desarrollo cognitivo con la educación pueden ser directos y útiles. Por ejemplo, los niños con nivel socioeconómico bajo, en general, muestran retrasos en la adquisición normal de las habilidades y los conceptos aritméticos. Cuando estos niños tienen acceso a un entrenamiento intensivo, tal como el programa RightStart, superan los obstáculos y mejoran su nivel de rendimiento. Otros puentes no están tan bien fundados. En particular, el énfasis excesivo en los períodos sensibles para aprender conectados con la maduración del cerebro ha llevado a un concepto restringido de «ventanas de oportunidad» para aprender, que no está respaldado por la investigación del aprendizaje. De hecho, algunas investigaciones invalidan la visión común de que hace falta una alta densidad sináptica para aprender. El vínculo entre la neurociencia y la educación debe incluir la evaluación de las conductas blanco, tales como el aprendizaje de la aritmética y la lectura, y no debe suponer que los descubrimientos del cerebro se vinculan en formas obvias. Otros capítulos de este libro destacan áreas en las que los vínculos entre la investigación del cerebro y las conductas educativamente relevantes se forman de modo provechoso y con la apropiada precaución científica, en especial respecto del lenguaje y la aritmética.

Los compiladores

En «La educación y el cerebro: Un puente demasiado lejos» (Bruer, 1997), expresé preocupación acerca de supuestas consecuencias de la neurociencia del desarrollo en la enseñanza y el aprendizaje. También argumenté en modo positivo que, en la actualidad, la psicología cognitiva es una mejor fuente para la investigación básica educativamente relevante que la neurociencia del desarrollo. En cuanto al futuro, afirmé que la neurociencia cognitiva era el candidato más prometedor para una ciencia básica del aprendizaje y que también dependía de los métodos de la psicología cognitiva. Por lo tanto, la mejor estrategia de los educadores fue adoptar la psicología cognitiva y construir puentes «aplicados» desde la psicología cognitiva hasta la práctica educativa y puentes básicos entre la ciencia cognitiva y la neurociencia de los sistemas.

El artículo de 1997 estaba dirigido principalmente a las comunidades educativas y de creación de políticas y no a las comunidades de investigación cognitiva o neurocientífica. Abordaba el tema de dónde buscar bases científicas para una práctica educativa mejorada. No abordaba, como tales, los méritos y los problemas de un programa de investigación que intentara vincular la ciencia del cerebro y la ciencia de la mente con la práctica educativa: un programa de investigación en neuroeducación, el centro de este libro. Aquí, trataré de referirme a algunos de aquellos méritos y problemas.

(1) Cuestionaré el rol dominante que la neurociencia visual ha tenido en el pensamiento acerca de las bases neuronales del aprendizaje; (2) Ilustraré la importancia de los modelos cognitivos para la investigación y la práctica educativas; y (3) Abordaré el tema de cómo la neurociencia cognitiva puede ayudar a refinar los modelos cognitivos relevantes desde el punto de vista educativo.

El aprendizaje y la neurociencia visual

Desde fines de la década de los setenta, los neurocientíficos han sabido que en los monos y en los humanos existe un período en el desarrollo posnatal temprano, durante el que la velocidad de la formación de sinapsis excede la velocidad de la eliminación de sinapsis, es decir, hay períodos de sinaptogénesis del desarrollo (véanse, por ejemplo, Lund y cols., 1977; Huttenlocher y cols., 1979; Rakic y cols., 1986). Los científicos y los etólogos conductuales también habían observado que existen períodos críticos en el desarrollo animal y en el humano (Bailey y cols., 2001). Si bien la definición de «período crí-

co» tiende a variar de autor en autor, la idea central es que hay períodos limitados en el desarrollo biológico en los que un organismo es susceptible y está preparado para ciertos tipos de experiencia o está abierto a ellos. Si esa experiencia no ocurre durante ese período, el desarrollo se desvía en forma permanente de su trayectoria normal. Mucho de lo que sabemos acerca de los mecanismos neuronales que subyacen bajo los períodos críticos deriva de la investigación acerca de cómo la privación visual afecta la formación o el mantenimiento de las columnas de dominancia ocular en la corteza visual (Singer, este libro). También existe una historia de investigación acerca de cómo criar ratas en ambientes complejos (ambientes salvajes o naturales simulados) afecta la estructura sináptica en la corteza visual de la rata (véase, por ejemplo, Greenough, 1987).

Sobre la base de dichos hallazgos, algunos educadores y neurocientíficos tratan de obtener consecuencias educativas de largo alcance. Afirman que la sinaptogénesis del desarrollo ocurre durante los 10-12 primeros años de vida. Es un período de densidad sináptica y metabolismo cerebral elevados. Es el período crítico del desarrollo cerebral. Durante este período crítico, los niños aprenden con mayor rapidez y eficiencia que en cualquier momento de la vida.

Esta afirmación llega en muchas variedades, algunas más extremas que las otras. Sin embargo, mantiene su credibilidad en los círculos educativos y de creación de políticas solo porque algunos neurocientíficos explícitamente sostienen, sugieren o plantean la hipótesis de que su trabajo tiene dichas consecuencias (Bruer, 2002).

Por ejemplo, Kandell y Schwartz (1991) concluyen un debate de los períodos críticos en la formación/mantenimiento de columnas de dominancia ocular al sugerir que es probable que dichos períodos sean características generales del desarrollo del cerebro. Esto explicaría «por qué ciertas capacidades —tales como las necesarias para el lenguaje, la música o la matemática— normalmente deben desarrollarse bien antes de la pubertad si es que, de hecho, han de desarrollarse...» (pág. 957). Al argumentar a favor de la hipótesis que afirma que el período de alta densidad sináptica es privilegiado para el aprendizaje, Peter Huttenlocher escribió: «Los datos muestran buenas correlaciones entre la edad de la poda sináptica y la disminución de la plasticidad del cerebro, en especial en sistemas más simples, tales como la corteza visual» (Huttenlocher, 2003). Un comunicado de prensa del Instituto Nacional de Salud Mental acerca del estudio de imágenes de Giedd y cols. (1999) que mostraba cambios en la materia blanca, en el cerebro adolescen-

te en desarrollo implicaba que este también podría ser un período crítico para el aprendizaje: «Si bien los científicos aún ignoran qué explica los cambios observados, pueden hacer un paralelismo con el proceso de poda que ocurre al principio de la vida que, al parecer, sigue el principio de “úsalo o piérdelo”: las conexiones neuronales, o sinapsis, que se ejercitan se retienen, mientras que las que no se ejercitan se pierden. Por lo menos, esto es lo que sugieren los estudios de los sistemas visuales en desarrollo de los animales». (Publicación de los Institutos Nacionales de la Salud [NIH, por su sigla en inglés]). Max Cynader expresó: «La corteza visual representa el mejor sistema modelo que tenemos para comprender cómo la estimulación sensorial del cerebro en una etapa temprana influye sobre los circuitos y las funciones cerebrales a lo largo de toda la vida» (Cynader, 2000).

Las primeras preguntas que un programa de investigación integrado sobre la mente, el cerebro y la educación debería hacer son: ¿Es el sistema visual el mejor modelo? ¿Tiene consecuencias para aprender a lo largo de la vida? La respuesta corta es «No».

La interpretación de Harry Chugani, de Chugani y cols. (1987), es el ejemplo más conocido de dónde la dependencia excesiva en la neurobiología del desarrollo genera pseudoconsecuencias para la enseñanza y el aprendizaje. Chugani cree que la alta densidad sináptica y el elevado metabolismo cerebral de los períodos de desarrollo son «la “ventana de oportunidad” biológica cuando el aprendizaje es eficiente y fácilmente retenido...» (Chugani, 1998).

El estudio de 1987 de Chugani y cols. usó la tomografía por emisión de positrones (PET, por su sigla en inglés) para medir los cambios en el metabolismo de la glucosa del cerebro en reposo en diversas regiones cerebrales, en sujetos cuya edad abarcaba de la infancia a la adultez joven. La curva continua de la Figura 3.1 muestra cambios observados en la absorción de glucosa a lo largo del desarrollo en la corteza frontal, una de las últimas áreas del cerebro que experimentan sinaptogénesis y poda del desarrollo.

El elevado período de absorción de glucosa en esta región del cerebro ocurre entre los 2 y los 11 años de edad. El aumento en la absorción de glucosa ocurre, afirman los autores, para apoyar la mayor densidad sináptica durante la sinaptogénesis del desarrollo. Por lo tanto, este debería ser el período crítico o la ventana biológica de oportunidad para las tareas de aprendizaje asociadas con la corteza frontal. Durante este período, entonces, los niños deberían mostrar cierta ventaja al aprender dichas tareas.

Absorción de glucosa en la corteza frontal y curva de aprendizaje del ejercicio de encontrar la discrepancia entre palabras

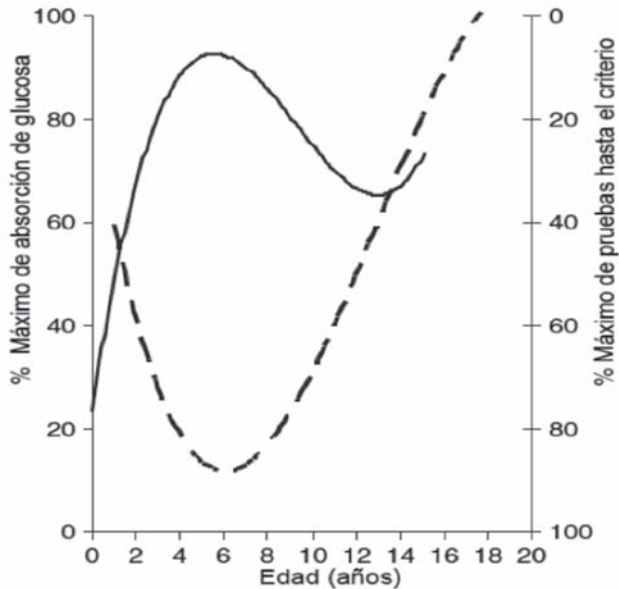


Figura 3.1 La línea continua muestra el porcentaje máximo de absorción de glucosa a lo largo de la vida, tal como se publicó en Chugani (1987). La línea punteada muestra el porcentaje máximo de pruebas hasta alcanzar el criterio para aprender el ejercicio de una parte en el que se debe encontrar la discrepancia entre palabras, tal como lo publicó Overman (1996b). Reimpreso del *Journal of Experimental Child Psychology*, 62(2), Overman, W. H.; Bachevalier, J.; Miller, M. y Moore, K., «Children's performance on "animal tests" of oddity: Implications for cognitive processes required for tests of oddity and delayed nonmatch to sample», 233-42. Derecho de autor (1996) con autorización.

Un análisis de evidencia conductual disponible no respalda esta afirmación. Por ejemplo, Overman y cols. (1996b) entrenaron a sujetos desde los 15 meses hasta los 20 años de edad en el ejercicio de una parte en el que se debe encontrar la discrepancia entre palabras, ejercicio que, en general, se supone que depende de la corteza frontal. Examinó a los sujetos 5 días por semana, les hizo 15 pruebas por día, hasta que alcanzaron un criterio de aprendizaje

de 13/15 opciones correctas durante dos días consecutivos de exámenes o hasta que hubieran realizado un máximo de 1500 pruebas de entrenamiento.

¿Con cuánta rapidez y eficiencia aprendieron los sujetos este ejercicio a diferentes edades? La curva punteada de la Figura 3.1 responde esta pregunta. La curva punteada muestra el cambio por edad en el número de pruebas de entrenamiento que los sujetos requirieron para alcanzar el criterio del ejercicio. Cuantas más pruebas se requieran, menos fácil y eficiente es el aprendizaje. El eje Y a la derecha de la Figura 3.1 para la curva de aprendizaje está invertido. A medida que la curva de aprendizaje desciende, el aprendizaje empeora; a medida que asciende, el aprendizaje mejora. Para el ejercicio de encontrar la discrepancia entre palabras, la facilidad del aprendizaje se correlaciona *de modo negativo* con la absorción frontal de glucosa. Al aumentar el metabolismo del cerebro, el aprendizaje empeora. Al disminuir el metabolismo del cerebro, el aprendizaje mejora. Además, el aprendizaje continúa mejorando una vez que la absorción frontal de glucosa se asienta a niveles maduros.

Este no es un resultado aislado. Los monos y los humanos adultos aprenden el procedimiento de no igualación a la muestra demorada con más rapidez que los sujetos inmaduros (Bachevalier y Mishkin, 1984; Overman, 1990). Los adultos aprenden tareas de navegación espacial con más rapidez que los niños (Overman y cols., 1996c). Los humanos y los monos adultos aprenden tareas de discriminación con más rapidez que los sujetos inmaduros (Overman, Bachevalier, Schuhmann y Ryan, 1996a). Las afirmaciones simplistas basadas en la neurobiología del desarrollo del sistema visual o extrapoladas de ella simplemente no son consecuentes con lo que la investigación conductual ya nos dice acerca de la facilidad y la eficiencia del aprendizaje a lo largo de la vida.

Estas afirmaciones simplistas tampoco son consecuentes con lo que los psicólogos cognitivos han establecido acerca del aprendizaje y la memoria estudiados en los últimos cuarenta años. La investigación psicológica cognitiva ha establecido que el conocimiento previo dentro del dominio de un sujeto es el determinante más fuerte de lo rápido y efectivamente que aprenden los individuos (véase Pressley y McCormick, 1995, cap. 4, págs. 84-109). La facilidad y la eficiencia del aprendizaje dependen de la experiencia previa, no de la edad, o (dentro de ciertos límites) de la maduración del cerebro.

Means y Voss (1985) estudiaron cómo el aprendizaje y la experiencia previos influyen en la comprensión que las personas tienen de una historia. La historia utilizada en el estudio fue la trilogía de la película *La guerra de las galaxias*. En su estudio, se definió como principiantes a los sujetos que habían visto las películas por lo menos una vez, pero no más de tres veces. Los expertos habían visto las películas cuatro veces o más. El rango de edad de los sujetos iba desde los 7 años (segundo grado) hasta los 19 años o más (universidad). De esta manera, los sujetos de este estudio incluyeron a individuos tanto dentro como fuera de la supuesta ventana biológica para el aprendizaje dada la historia neurobiológica alrededor de los 11-12 años de edad. Los resultados de Means y Voss se muestran en la Figura 3.2.

Los expertos aprendieron más que los principiantes a cada edad en cada una de las tres tareas de aprendizaje empleadas en el estudio. Más concretamente, tanto el aprendizaje de los expertos como el de los principiantes *aumentaron con la edad*. La facilidad y la eficacia del aprendizaje no alcanzaron su pico entre los 4 y los 10 años de edad. Más bien, los sujetos parecieron alcanzar sus niveles de aprendizaje maduros alrededor de los 11-12 años y retuvieron o excedieron esos niveles de aprendizaje en la adultez, es decir, después de que se cerrara la «ventana de oportunidad biológica».

La investigación psicológica ha establecido que la experiencia a cualquier edad importa. Cualquier simple conexión entre el programa de maduración del cerebro y la facilidad y la eficiencia del aprendizaje no es consecuente con lo que sabemos acerca de cómo la experiencia previa, a cualquier edad, influye sobre el aprendizaje. La neurobiología del desarrollo podría, con el tiempo, ayudar a explicar lo que la ciencia psicológica ya ha descubierto acerca del aprendizaje a lo largo de la vida (véase Koizumi, este libro). Sin embargo, si la ciencia del cerebro en la actualidad no puede explicar estos hallazgos psicológicos fundamentales, entonces las afirmaciones y las especulaciones de los neurocientíficos acerca de las consecuencias que su investigación tendría en la educación, por lo menos, deberían ser consecuentes con lo que la ciencia del comportamiento ya nos dice.

Toda iniciativa de investigación sobre la mente, el cerebro y la educación debería asumir una mirada crítica e interdisciplinaria respecto de las afirmaciones que emanan de la neurociencia del desarrollo acerca de que el sistema visual con sus períodos críticos

es el mejor modelo para explicar el aprendizaje a lo largo de la vida. El problema tal vez solo sea que los neurocientíficos no son conscientes de lo que la psicología cognitiva y la educativa ya han logrado. Un beneficio de un programa de investigación integrado sería alentar el diálogo entre los científicos de la mente y del cerebro para que la investigación, las hipótesis y las especulaciones pudieran ser atenuadas y limitadas por lo que la investigación básica ya nos dice acerca del aprendizaje y la instrucción, y fueran consecuentes con ella.

Desarrollo del conocimiento experto/principiante (Means y Voss, 1985)

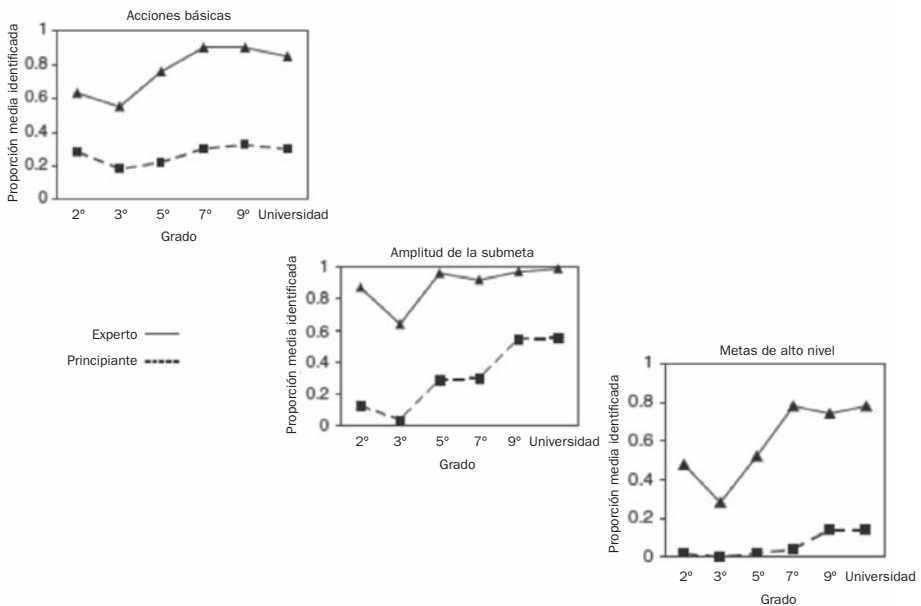


Figura 3.2 Usando tres diferentes mediciones de comprensión de la historia, Means y Voss (1985) mostraron que los expertos aprendieron más que los principiantes a cada edad y que, para los principiantes y los expertos, el aprendizaje y la comprensión aumentaron con la edad. Reimpreso del *Journal of Memory and Language*, 24, Means, M. y Voss, J., «Star Wars: A developmental study of expert and novice knowledge structure», 746-757. Derecho de autor (1985), con autorización de Elsevier.

Modelos cognitivos y educación

Los investigadores de la educación y los docentes del aula están interesados en resolver los problemas de instrucción que surgen al enseñar lectura, matemática, ciencia y estudios sociales. La psicología cognitiva ha ofrecido respuestas a estos problemas educativos y a muchos otros (Bruer, 1994). La psicología cognitiva intenta comprender las representaciones y los procesos mentales que subyacen bajo la experiencia dentro del campo del aprendizaje. Los modelos cognitivos del desempeño experto permiten a los psicólogos explicar la experiencia en el campo y permitir a los educadores identificar qué conocimiento y qué procesos podrían faltarles a los niños que luchan por aprender en un cierto campo. Identificar déficits específicos contribuye con los planes de estudio y con los materiales de enseñanza diseñados para mejorar esos déficits.

Aprender primero la aritmética formal proporciona un ejemplo excelente de cómo los modelos cognitivos pueden moldear y mejorar el aprendizaje. ¿Por qué algunos niños no logran dominar la primera aritmética formal en la primaria?

Comenzando a mediados de la década de los sesenta, los psicólogos cognitivos descubrieron que los niños desarrollan estrategias para resolver problemas de aritmética simples, como $4 + 2$, usando su comprensión previa de contar y de comparar números por su tamaño. (Para obtener una reseña, véase Bruer, 1994, cap. 4, págs. 81-126). Para $4 + 2$, el típico niño de 5 o de 6 años determinaría que 4 es mayor que 2 y luego contaría dos números desde 4 para encontrar la respuesta: «4, ... 5, 6». La línea numérica mental (LNM, Figura 3.3) proporciona un modelo cognitivo del conocimiento y de los procesos que permiten la invención de dicha estrategia.

Para inventar esta estrategia, los niños deben saber que contar requiere una correspondencia de uno a uno entre objetos contados y números ordenados, que a medida que uno avanza por la secuencia numérica, cada número se refiere a una magnitud mayor que el número previo, que cuando uno va de izquierda a derecha en la LNM, las magnitudes se agrandan y que los números arábigos también se refieren a magnitudes.

Case, Siegler y Griffin desarrollaron una prueba de conocimiento numérico basada en este modelo cognitivo para evaluar qué procesos aritméticos y comprensiones numéricas adquieren los ni-

ños a edades específicas (Griffin, Case y Siegler, 1994). A fin de establecer normas para su prueba, evaluaron a diversas poblaciones de estudiantes en los Estados Unidos y Canadá. Para su sorpresa, descubrieron que la adquisición de estas habilidades numéricas básicas dependía no solo de programas de desarrollo, sino también de factores sociales y culturales. Los niños de nivel socioeconómico (NSE) bajo tendían a adquirir estas capacidades más lentamente que los niños de clase media. Por ejemplo, en el ingreso escolar, un niño de 6 años de NSE bajo podía desempeñarse como un niño de 4 años de clase media en la prueba de conocimiento numérico. Las diferencias más pronunciadas en las capacidades ocurrieron al hacer comparaciones de magnitudes numéricas y al resolver mentalmente problemas aritméticos, como $4 + 2$. Por ejemplo, los niños de clase media que entraban en el jardín de infantes pudieron resolver estos problemas sencillos en el 72% de los casos, en comparación con el 14% de los niños con NSE bajo.

La buena noticia es que un plan de estudios basado en el modelo cognitivo predominante —el plan de estudios RightStart—, que incluye una instrucción explícita sobre contar, comparar y la estructura conceptual de la LNM asociada, puede remediar estos problemas de aprendizaje. Después de un año de instrucción con RightStart, los niños identificados como en riesgo, por fallar en la primera aritmética formal sobre la base de la prueba de conocimiento numérico, alcanzaron niveles de éxito en aritmética que no se distinguieron de los hallados en un grupo control de clase media. Este es solo un ejemplo de por qué sería mejor que los educadores consideraran la psicología cognitiva una ciencia básica para una ciencia aplicada del aprendizaje. Pueden encontrarse otros ejemplos en el plan de estudios y en todos los niveles (Bruer, 1994).

Modelo de la línea numérica mental de la estructura conceptual central para la aritmética elemental

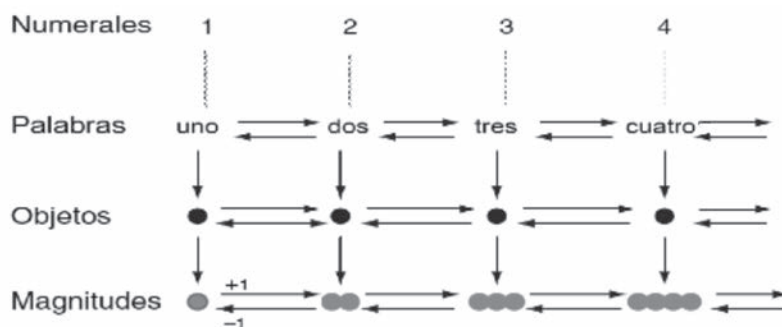


Figura 3.3 La línea numérica mental proporciona un modelo cognitivo de la comprensión conceptual que se requiere para aprender la primera aritmética formal. Los niños deben conocer los nombres de los números, cómo etiquetar objetos con los nombres de los números para contar correctamente, comprender que los nombres de los números denominan magnitudes que aumentan de izquierda a derecha y que los números arábigos son símbolos escritos que se refieren a magnitudes.

Neurociencia cognitiva y modelos cognitivos

En el pasado, los modelos cognitivos se han basado en estudios del comportamiento llevados a cabo por psicólogos cognitivos y del desarrollo. En los últimos diez años, dado el impacto de la investigación unificada de la mente y el cerebro, se han aplicado otras fuentes de evidencia basadas en el cerebro en los modelos cognitivos. Dehaene (1992 y capítulo 14) brinda una magnífica reseña de cómo estas nuevas fuentes de evidencia pueden integrarse con la evidencia conductual para mejorar nuestra comprensión de la cognición numérica. Para los estudios psicológicos cognitivos basados en la investigación del experto-principiante y del desarrollo, Dehaene añade evidencia de estudios en animales sobre la numerosidad, de estudios de lesiones neurológicas que proporcionan nuevas percepciones acerca de la localización de representaciones

y de procesos en el cerebro, y estudios de imágenes que buscan correlatos neuronales para procesos cognitivos básicos. El objetivo de un programa de investigación integrado de la mente, el cerebro y la educación sería explorar cómo estas fuentes convergentes de evidencia pueden generar modelos cognitivos más refinados sobre los que podemos construir una mejor instrucción.

El trabajo de Dehaene sobre la neurociencia cognitiva de la cognición numérica brinda un excelente ejemplo de lo que podría aportar dicho programa de investigación. El modelo de LNM (Figura 3.3) hace una presunción implícita. Supone que existe una representación única y abstracta de la magnitud, y que los nombres de los números y los números arábigos se refieren a esta representación de la magnitud. Hubo (hay) un debate entre los psicólogos cognitivos acerca de si existe esta representación de la magnitud abstracta común. ¿Acaso no podría ser que los nombres de los números y los números arábigos estén asociados con diferentes representaciones internas de cantidad?

Dehaene y colegas usaron el ejercicio de comparación numérica en estudios de potencial relacionado con el evento (PRE) y las imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf) (Pinel y cols., 2001) para responder esta pregunta (Dehaene, 1996; Pinel y cols., 2001). A los sujetos se les mostró una palabra numérica («OCHO») o un número arábigo («8») y se les pidió que juzgaran si la magnitud nombrada por el símbolo era mayor o menor que cinco. Encontraron que áreas específicas del cerebro se activan en el ejercicio de comparación numérica y que estas áreas son las mismas tanto para los nombres de los números como para los números arábigos. Las imágenes cerebrales y los datos de registro son consecuentes con la afirmación de que hay una representación abstracta común de magnitudes, tal como se supone en el modelo de LNM. El estudio por imágenes proporciona una evidencia convergente, independiente de la evidencia conductual, acerca de qué representaciones y procesos deberían incluirse en un modelo cognitivo adecuado de cognición numérica.

Evidencia convergente como esta ha brindado apoyo al modelo de triple código de cognición numérica de Dehaene (véase la Figura 3.4).

El modelo de triple código y los problemas de aprendizaje

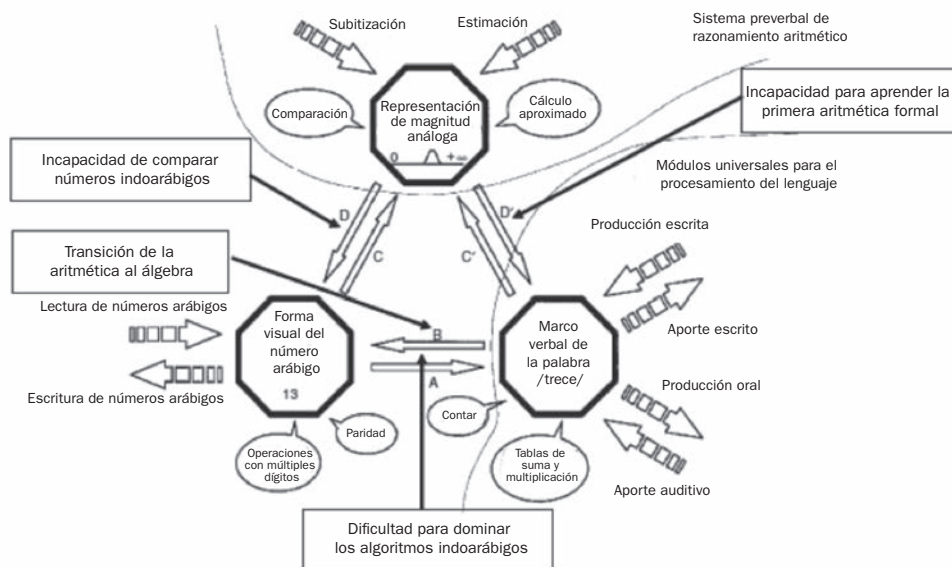


Figura 3.4 El modelo de triple código de cognición numérica de Dehaene (1992) muestra cómo problemas específicos para aprender matemática pueden verse como dificultades o fracasos para integrar las representaciones numéricas. Reimpreso de *Cognition*, 44(1-2), Dehaene, S., «Varieties of numerical abilities», 1-42. Derecho de autor (1992), con autorización de Elsevier.

El modelo postula que tenemos tres representaciones distintas de los números: una representación formada por una palabra (los nombres de los números), una representación visual de la forma del número (números arábigos) y la representación de magnitud análoga preverbal. El modelo afirma que podemos trasladarnos entre estos códigos mentales y que operaciones o procesos numéricos específicos están asociados con una o con otra de las representaciones numéricas. Las operaciones de muchos dígitos y los criterios de paridad invocan la representación arábica. Contar y recordar hechos de suma/resta invocan la representación del nombre del número. La comparación y el cálculo aproximado invocan la representación de la magnitud.

Un modelo cognitivo de este nivel proporciona una estructura unificadora que puede ayudar a explicar lo que, de otra forma, parecerían ser problemas de aprendizaje «aislados» o fracasos «generales» para adquirir habilidades numéricas. Puede ayudarnos a ver de qué manera la anterior investigación cognitiva del aprendizaje dentro del campo de los números se relaciona con las tres representaciones numéricas básicas. El trabajo de Case y Griffin indicó que los niños pueden tener dificultades para vincular los nombres de los números con las magnitudes. La investigación de Resnick (1982) halló que a los niños con frecuencia les cuesta vincular algoritmos escritos para cálculos con números arábigos con procedimientos para contar usando los nombres de los números. Nathan y cols. (2000) revelaron el resultado contraintuitivo desde el punto de vista instructivo de que la comprensión previa de los niños de las representaciones numéricas verbales facilita la adquisición de representaciones simbólicas. La comprensión previa de los estudiantes de los problemas representados verbalmente puede facilitar la transición a usar representaciones simbólicas. Se requiere una transición similar para pasar de resolver problemas aritméticos a resolver problemas algebraicos. Los modelos cognitivos apropiados de la cognición numérica pueden ayudar a pensar en problemas instructivos como fracasos para vincular las representaciones de números previas a la instrucción de los niños con la representación, que es la meta de la instrucción.

Como otro ejemplo, la neurociencia cognitiva puede contribuir con modelos cognitivos más refinados de la lectura competente. La habilidad de lectura fundamental es la capacidad de procesar las representaciones impresas de las palabras (ortografía) en sus representaciones habladas (fonología). Los psicólogos cognitivos han propuesto dos modelos cognitivos fundamentalmente diferentes para explicar esta habilidad (véase la Figura 3.5).

El modelo de doble ruta postula que las palabras impresas podrían reconocerse, por lo menos, de dos maneras. En primer lugar, en el caso de palabras familiares, el lector podría convertir las series impresas en un código visual, donde el código visual luego es asignado a una entrada en un léxico mental de palabras familiar para el lector. O bien, en segundo lugar, en el caso de palabras im-

presas que no son familiares, el lector podría recodificar fonológicamente la serie de letras («decirla en voz alta») y hacer concordar este código con su conocimiento de palabras que le son familiares por el habla y que aparecen en el léxico mental. En el modelo conexionista, no hay léxico alguno. Más bien, cuando un lector mira una serie de letras, se activan unidades en una red conexionista, y esta activación se extiende a otras unidades que representan información fonológica o semántica que, en última instancia, permiten al lector identificar la palabra.

A fin de estudiar esta habilidad y de poner a prueba sus modelos cognitivos, los psicólogos comparan los tiempos de reacción de los sujetos para reconocer las palabras impresas que varían en su lexicalidad (palabra frente a no palabra), frecuencia (palabra común frente a no común) y coherencia entre la ortografía y el sonido (por ejemplo, *lint* frente a *pint*¹). Los sujetos reconocen las palabras más rápido que las que no son palabras, las palabras comunes más rápido que las palabras que no son comunes y, cuando se les pide que lean palabras en voz alta, reconocen más rápido las palabras coherentes que las que no son coherentes. También existe una interacción entre la frecuencia y la coherencia. Los sujetos son considerablemente más lentos al leer palabras incoherentes de baja frecuencia (por ejemplo, *pint*) que al leer palabras incoherentes de alta frecuencia (por ejemplo, *have*) y palabras coherentes de alta frecuencia (por ejemplo, *gave*). Tanto el modelo de doble ruta como el conexionista son consecuentes con estos robustos resultados conductuales (véanse también Goswami, Petitto y Wolf, en este libro).

1. Nota de las Trad.: En inglés, la palabra *lint* se pronuncia /lint/, mientras que la palabra *pint* se pronuncia /paint/, a pesar de que la grafía de las últimas tres letras de ambas palabras es la misma.

Modelos de procesamiento fonológico

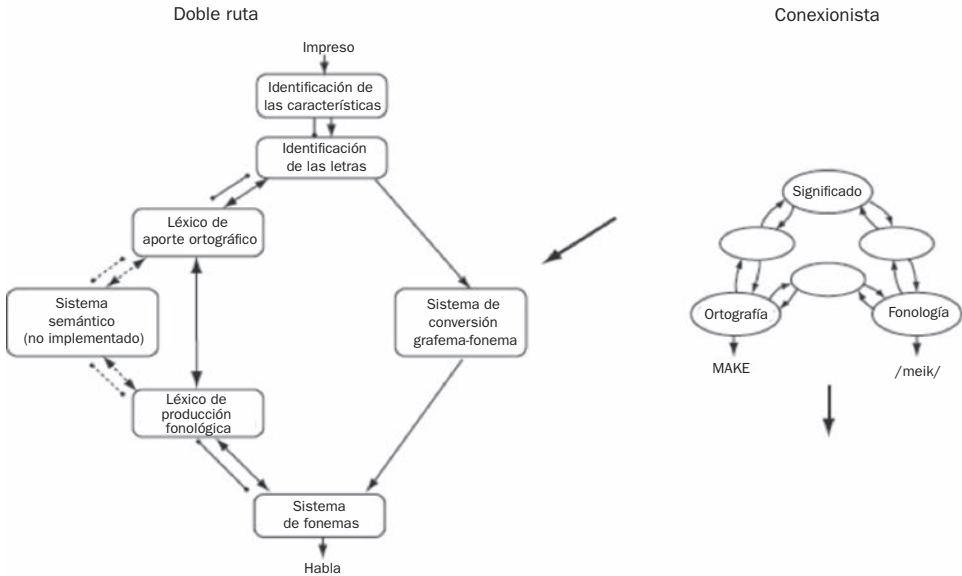


Figura 3.5 Dos modelos cognitivos en competencia del procesamiento fonológico que subyacen tras la lectura competente. Las flechas indican el componente del modelo que estaría correlacionado con la activación frontal izquierda en Fiez y cols.(1999). Reimpreso de *Neuron*, 25, Fiez, J. A.; Balota, D. A.; Raichle, M. E. y Petersen, S. E., «Effects of lexicality, frequency, and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading», 205-218. Derecho de autor (1999), con autorización de Elsevier.

Los neurocientíficos cognitivos buscan correlatos neuronales de los procesos cognitivos. En un estudio por imágenes, Fiez y cols. (1999) identificaron un área en la región medial frontal izquierda del cerebro, cuya activación se corresponde con los datos conductuales. Existe una interacción entre la frecuencia y la coherencia de las palabras y la muy alta activación cuando los sujetos leen palabras incoherentes de baja frecuencia.

¿Acaso este resultado proporciona otra evidencia convergente a favor de uno de los modelos cognitivos? No. Ambos modelos, así como la activación medial frontal izquierda, son consecuentes con los datos conductuales. En el modelo de doble ruta, la actividad del

área frontal izquierda es consecuente con el hecho de que esa área está involucrada en la ruta de procesamiento en la que usamos el conocimiento de las letras y de los sonidos para «decir en voz alta» series de letras pronunciables que no son palabras. En un modelo conexionista (no léxico), la activación del área es consecuente con el hecho de que manifiesta una capa oculta en el modelo que computa la transformación de ortográfica a fonológica (véanse las flechas en la Figura 3.5).

Sin embargo, la historia se vuelve más interesante cuando uno trae a colación otros datos convergentes neuropsicológicos y de imágenes. Estos datos muestran que la región frontal izquierda *está activa* en ejercicios fonológicos que *no* requieren una transformación de ortográfica a fonológica (por ejemplo, mantener ítems en la memoria de trabajo verbal). Otros datos basados en el cerebro muestran que la región frontal izquierda *no está activa* cuando los sujetos leen palabras de alta frecuencia, ejercicio fonológico que *sí* requiere un procesamiento fonológico. Por lo tanto, el área medial frontal izquierda tiene una función más general que las funciones específicas de la lectura que los modelos de doble ruta y conexionista le atribuyen; no obstante, también tiene una función más específica que el procesamiento fonológico. Por lo tanto, Fiez y cols. (1999) llegan a la conclusión de que cuando se toman en cuenta en su totalidad los datos conductuales, neuropsicológicos y de imágenes, ninguno de los dos modelos puede justificar en forma adecuada los datos. La neurociencia cognitiva sugiere que debemos refinar nuestros modelos cognitivos.

¿Cómo podríamos hacerlo de la mejor manera? Franck Ramus (2001) sostuvo que la mejor estrategia para la revisión de los modelos podría ser que los psicólogos cognitivos y los neurocientíficos cognitivos se tomaran la fonología —ciencia establecida, madura y conductual— en serio. La fonología postula una jerarquía de representaciones y de procesos en los niveles léxico y subléxico que se requieren para justificar cómo usamos los patrones de sonido para transmitir significado. Los psicólogos y los neurocientíficos cognitivos solo han raspado la superficie de lo que la fonología puede aportar para el refinamiento de sus modelos de reconocimiento de palabras.

Siguiendo la sugerencia de Ramus, nuestra mejor estrategia general de investigación de la neuroeducación sería tratar de refinar nuestros modelos cognitivos mediante interacciones recursivas

entre estudios neurocientíficos conductuales, neuropsicológicos y cognitivos (véanse Fischer y Van Geert y Steenbeek, este libro). Con el tiempo, este programa podría tener consecuencias educativas. Por ejemplo, creemos que los déficits fonológicos causan dislexia. Sin embargo, ¿qué déficits fonológicos específicos son las causas?

Conclusión

He intentado presentar algunas pautas o principios para un programa de investigación integrado de la mente, el cerebro y la educación. En mi primer artículo sobre este tema, introduje la metáfora de construir puentes. Esa metáfora también se aplica aquí. Debemos construir un puente mejor entre la neurobiología del desarrollo y las ciencias del aprendizaje. Esto requerirá un análisis de la medida en la que el sistema visual brinda un modelo para aprender y la plasticidad neuronal a lo largo de la vida. Debemos estar conscientes del puente, recorrido con demasiado poca frecuencia, que actualmente existe entre la psicología cognitiva y la educación. Por último, debemos entender cómo la neurociencia cognitiva puede ayudar a construir puentes entre la mente y la ciencia del cerebro, y contribuir con el refinamiento de los modelos cognitivos. Esta debe ser una interacción recursiva e interactiva entre los científicos conductuales, cognitivos y neurobiológicos. Recordemos: estamos construyendo puentes, no buscando cimientos.

Referencias

- Bachevalier, J. y Mishkin, M. (1984). «An early and a late developing system for learning and retention in infant monkeys», *Behavioral Neuroscience*, 98(5), 770-778.
- Bailey, D. B., Bruer, J. T., Symons, F. J. y Lichtman, J. W. (2001). *Critical Thinking about Critical Periods*, Baltimore, Paul H. Brookes Publishing Co.
- Bruer, J. T. (1994). *Schools for Thought: A Science of Learning in the Classroom*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- (1997). «Education and the brain: A bridge too far», *Educational Researcher*, 26(8), 4-16.
- (1999). *The Myth of the First Three Years: A New Understanding*

- of *Early Brain Development and Life Long Learning*, Nueva York, The Free Press.
- (2002). «Avoiding the pediatrician's error: how neuroscientists can help educators (and themselves)», *Nature Neuroscience*, 5 de noviembre, Supl., 1031-1033.
- Chugani, H. (1998). «A critical period of brain development: studies of cerebral glucose utilization with PET», *Preventive Medicine*, 27, 184-188.
- Chugani, H. T., Phelps, M. E. y Mazziota, J. C. (1987). «Positron emission tomography study of human brain function development», *Annals of Neurology*, 22, 487-497.
- Cynader, M. (2000). «Perspectives: neuroscience. Strengthening visual connections», *Science*, 287(5460), 1943-1944.
- Dehaene, S. (1992). «Varieties of numerical abilities», *Cognition*, 44(1-2), 1-42.
- (1996). «The organization of brain activations in number comparison: event related potentials and the additive-factors method», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 47-68.
- Fiez, J. A., Balota, D. A., Raichle, M. E. y Petersen, S. E. (1999). «Effects of lexicality, frequency, and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading», *Neuron*, 25, 205-218.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C. y Rapoport, J. L. (1999). «Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study», *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Greenough, W., Black, J. y Wallace, C. (1987). «Experience and brain development», *Child Development*, 58(3), 539-559.
- Griffin, S. A., Case, R. y Siegler, R. S. (1994). «Rightstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure», en K. McGilly (comp.), *Classroom Lessons* (págs. 25-50), Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Huttenlocher, P. R. (1979). «Synaptic density in human frontal cortex-developmental changes of ageing», *Brain Research*, 163, 195-209.
- (2003). «Basic neuroscience research has important implications for child development», *Nature Neuroscience*, 6(6), 541.
- Kandell, E. y Schwartz, J. (1991). *Principles of Neural Science*, Nueva York, Elsevier.

- Lund, J. S., Boothe, R. G. y Lund, R. D. (1977). «Development of neurons in the visual cortex (area 17) of the monkey (Macacanemestrina): A Golgi study from fetal day 127 to post-natal maturity», *Journal of Comparative Neurology*, 176, 149-188.
- Means, M. y Voss, J. (1985). «Star Wars: A developmental study of expert and novice knowledge structure», *Journal of Memory and Language*, 24, 746-757.
- Nathan, M. J. y Koedinger, K. R. (2000). «Teachers' and researchers' beliefs about the development of algebraic reasoning», *Journal of Research on Mathematics Education*, 31(2), 168-190.
- NIH Publicación N.º 01-4929 Comunicado de prensa de NIMH, Información de la salud mental en niños y adolescentes. Disponible en: www.nimh.nih.gov/publicat/childmenu.cfm.
- Overman, W. H. (1990). «Performance on traditional matching to sample, nonmatching to sample, and object discrimination tasks by 12- to 32-month-old children. A developmental progression», *Annals of the New York Academy of Science*, 608, 365-385.
- Overman, W. H., Bachevalier J., Schuhmann, E. y Ryan, P. (1996a). «Cognitive gender differences in very young children parallel biologically based cognitive differences in monkeys», *Behavioral Neuroscience*, 110(4), 673-684.
- Overman, W. H., Bachevalier, J., Miller, M. y Moore, K. (1996b). «Children's performance on "animal tests" of oddity: Implications for cognitive processes required for tests of oddity and delayed nonmatch to sample», *Journal of Experimental Child Psychology*, 62(2), 223-242.
- Overman, W. H., Pate, B. J., Moore, K. y Peuster, A. (1996c). «Ontogeny of place learning in children measured in the radial arm maze, Morris search task, and open field task», *Behavioral Neuroscience*, 110(6), 1205-1228.
- Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D. y Le Bihan, D. (2001). «Modulations of parietal activation by semantic distance in a number comparison task», *NeuroImage*, 14(5), 1013-1026.
- Pressley, M. y McCormick, C. B. (1995). *Advanced Educational Psychology for Educators, Researchers, and Policymakers*, Nueva York, Harper Collins College Publishers.
- Rakic, P., Bourgeois, J. P., Eckenhoff, M. F., Zecevic, N. y Goldman-Rakic, P. S. (1986). «Concurrent overproduction of synapses

- in diverse regions of the primate cerebral cortex», *Science*, 232(4747), 232-235.
- Ramus, F. (2001). «Outstanding questions about phonological processing in dyslexia», *Dyslexia*, 7(4), 197-216.
- Resnick, L. B. (1982). «Syntax and semantics in learning to subtract», en T. P. Carpenter, J. M. Moser y T. A. Romberg (comps.), *Addition and Subtraction: A Cognitive Perspective*, Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum.

La mente, el cerebro y la conciencia

Jürgen Mittelstrass

Introducción

Una preocupación de los filósofos es vincular el pensamiento filosófico con la investigación y la teoría científicas. La filosofía y la psicología tienen raíces históricas comunes, y varios conceptos importantes, tales como la conciencia, han sido tratados desde diversos puntos de vista por parte de ambas disciplinas. La biología, en especial la neurociencia, está abriendo su propio camino de descubrimiento en el mismo reino desde una perspectiva diferente. Mittelstrass sostiene que muchas explicaciones reduccionistas de la psicología han fracasado, tal como el conductismo. ¿Acaso la neurociencia cognitiva mostrará límites similares? En cualquier caso, los filósofos contemporáneos, en su mayoría, respaldan un enfoque dualista a la cuestión mente-cerebro, mientras que los científicos, en general, prefieren una perspectiva monista. Desde luego, hay diferentes matices y texturas en estas opciones, pero el amplio uso de las imágenes cerebrales muchas veces lleva a suponer que los estados psíquicos son simplemente estados neurofisiológicos descritos por el metabolismo cerebral local. Una posición extrema es lo que Vidal, en su capítulo, llama «cerebralidad», la suposición de que una persona está totalmente definida por su cerebro. Una alternativa fructífera puede ser un dualismo pragmático que valora los conceptos teóricos de la ciencia a la vez que mantiene una visión dualista.

Los compiladores

Las relaciones entre la mente y el cuerpo, el cerebro y la conciencia, en la actualidad, se ubican en el centro no solo del interés

científico, sino también del filosófico. Ya estaban allí, es decir, al comienzo del pensamiento moderno, donde podemos encontrarlas dentro de los llamados «problemas restantes» de dualismo cartesiano, bajo la forma del problema de la relación entre la mente y el cuerpo, *res cogitans* y *res extensa*, según la terminología cartesiana. Sin embargo, esto representó, en cierto sentido, los dolores de nacimiento de la nueva clase de pensamiento. Hoy en día, miramos este comienzo y tratamos de entenderlo como una orientación fundamentalmente nueva en la filosofía. No obstante, también deseamos ver el futuro, en donde vemos que estas cuestiones determinan el futuro común de la ciencia y la filosofía de un modo aún más pronunciado del que encontramos en el pensamiento moderno inicial. Esto es así principalmente respecto del problema mente-cuerpo. Aquí reside una buena parte del futuro científico de la ciencia moderna del cerebro y aquí reside, también, al parecer, un componente esencial del futuro del pensamiento filosófico.

A continuación, intentaré describir este futuro común de una forma algo más precisa. Seguiré el hilo de algunos pensamientos que desarrollé con Martin Carrier y que he denominado «dualismo pragmático» (Carrier y Mittelstrass, 1991; véase también Mittelstrass, 1998). Este concepto se refiere al intento por mediar de un modo constructivo entre el programa de investigación abrumadoramente dualista de la filosofía y el programa de investigación abrumadoramente monista de la ciencia natural (que incluye la psicología científicamente orientada). Este intento tiene cuatro partes, y comienzo con un breve recuerdo de la carrera del problema mente-cuerpo. Este último comienza en el pensamiento griego como lo que podríamos denominar el problema alma-cuerpo.

La carrera del problema mente-cuerpo

Luego de haber adjudicado propiedades materiales al alma, siguiendo la tradición animista —el alma como el aliento de vida, que abandona el cuerpo en el momento de la muerte—, Platón distingue entre tres partes del alma y hace hincapié en su inmateralidad, su existencia previa y su inmortalidad. Estas son: el alma pensante o racional, el alma apasionada o valiente y el alma anhelante. Esta división tripartita está motivada por la tricotomía de los estados cívicos (gobernantes, guardianes, trabajadores), cuya

categoría se supone que gana validación biológica a través de su correspondencia con las tres partes del alma. Platón distingue, además, entre el alma (o la vida) como principio de automovimiento, y la materia como aquello que, en algunos casos, está «animado» a través de este principio motor. El caso es diferente con Aristóteles. Él distingue entre un alma vegetal, es decir, la capacidad para la asimilación material y la reproducción; un alma animal que comprende, además, las facultades de sentido-percepción, de deseo y de locomoción; y un alma racional, que es la «portadora» de la razón teórica y práctica, y que está dividida, a su vez, en partes pasivas y activas. De acuerdo con Aristóteles, el alma es la «primera entelequia o realidad de un cuerpo orgánico», que mueve a este último y expira con él.

La filosofía medieval parte tanto de caracterizaciones platónicas como aristotélicas, aunque en la tradición filosófica de san Agustín, se enfatiza la verdadera distinción de las partes del alma, mientras que santo Tomás de Aquino y la tradición tomista insisten en la unidad del alma humana. Nuevamente, a pesar de tratarse de un contexto cristiano, la inmortalidad del alma desempeña un rol determinante. Por un lado, se introduce la idea de un alma superindividual e inmortal, que se distingue del alma individual mortal y, por el otro, se sugiere que el alma es idéntica al alma individual y, por lo tanto, como esta última es la realidad de un cuerpo material, también muere con el cuerpo. El principio del pensamiento moderno lleva a concepciones del alma que convierten la llamada psicología racional en una parte de la filosofía.

La carrera moderna del problema mente-cuerpo comienza en el siglo XVII con el dualismo de Descartes, en el que la concepción original aristotélica y medieval de una unidad de cuerpo y alma se resuelve en mundos gemelos de materia y de pensamiento: «Hay ciertos actos que llamamos *corpóreos*, tales como tamaño, forma, movimiento (...), y usamos el término *cuerpo* para referirnos a la sustancia a la que son inherentes. (...) Hay otros actos que llamamos *actos* de pensamiento, tales como entender, desear, imaginar, tener percepciones sensoriales, entre otros: todos caen dentro del concepto común de pensamiento o percepción o conciencia, y llamamos la sustancia a la que son inherentes una *cosa pensante* o una *mente*» (Descartes, 1964-1974, VII, pág. 176). Este concepto reside en la base de todas las teorías subsiguientes acerca de la mente y el cuerpo, sobre todo aquella acerca de la *conciencia*. Me concentraré

en esta noción, a fin de atenerme a mi propio oficio filosófico y evitar cavar en jardín ajeno, es decir, el de la medicina y la biología. Cuando los filósofos hablan del problema mente-cuerpo, en general lo hacen en el sentido de la parte pensante del alma, según Platón; en otras palabras, están pensando en la conciencia.

Como ya mencioné, muchas veces se hace referencia en filosofía al problema mente-cuerpo como un «problema restante», porque surgió de la metafísica de Descartes de las dos sustancias. Esta metafísica dualista convierte la pregunta de cómo la mente y el cuerpo, por lo tanto, la materia y la conciencia, pueden interactuar entre sí en un gran misterio, uno que inevitablemente atrae a los filósofos. Las primeras «soluciones» filosóficas de este problema, una de las cuales ya fue planteada por Descartes a la luz de la crítica contemporánea sustancial, son de naturaleza dualista. Es decir, defienden la suposición de reinos distintos y autónomos, en otras palabras, una dualidad de mente y de cuerpo, de materia y de conciencia (desde un estricto punto de vista sistemático, habría que distinguir, dentro del contexto histórico, entre un problema alma-cuerpo, un problema mente-cuerpo o conciencia-cuerpo y un problema materia-vida). El propio Descartes se muestra profundamente indeciso. Por un lado, aboga por una teoría interaccionista, que tiene en cuenta la comunicación orgánica entre las dos sustancias a través de la glándula pineal (Descartes, 1964-1974, XI, pág. 180); sin embargo, también se contenta, a la luz de la incoherencia sistemática de semejante suposición, con una referencia a las experiencias cotidianas (véase Carrier y Mittelstrass, 1991, págs. 16-27, donde se incluyen intentos cartesianos de obtener una solución para el problema mente-cuerpo y los consiguientes esfuerzos en esa dirección dentro del cartesianismo, así como los de Leibniz y Kant).

Dentro de la tradición cartesiana, esta indecisión adopta la forma de dos «soluciones» alternativas: las llamadas *teorías del influjo*, que suponen una interacción física entre ambas sustancias, y el llamado *ocasionalismo*, que resuelve la paradoja de una conexión física entre los reinos físico y no físico apelando a intervenciones divinas «ocasionales» o (a fin de liberar a Dios) por medio de una correspondencia continua entre ambas sustancias causadas por Dios. Esta última solución está relacionada con la suposición de Leibniz de una *armonía preestablecida* entre la mente y el cuerpo (que, incidentalmente, salva el alma de la filosofía de soluciones demasiado simples), y con la interpretación de Spinoza de ambas

sustancias como atributos de una única divina. Al mismo tiempo, estos intentos residen en la base del posterior concepto de *paralelismo psicofísico*, que luego es empleado para resolver el problema de la correspondencia empírica entre estímulos físicos objetivos y sensaciones psíquicas subjetivas, por ejemplo, por Gustav Fechner, Max Wundt y Ernst Mach.

Con razón, estas «soluciones» dieron lugar, a su vez, a conceptos *monistas*. Entre los últimos, podemos nombrar el reduccionismo idealista, tal como el inmaterialismo propuesto por el idealista británico George Berkeley, así como también el reduccionismo físico y materialista en las formas clásica y moderna. Ejemplos de estas reducciones fisicalistas y materialistas son, respectivamente, el conductismo, que ve la base de todos los fenómenos mentales en la conducta humana, y la llamada *teoría de la identidad*, que afirma que los eventos mentales y fisiológicos son idénticos entre sí. Todo intento por ver los eventos mentales como «controlados desde afuera», es decir, separados de una base en una sustancia neurológica, es visto desde esta perspectiva como una regresión a la ingenuidad filosófica. Lo mismo sucede con el llamado *epifenomenalismo*, por lo menos en la medida en que este último ve los estados y los procesos psíquicos como «efectos secundarios» de estados y de procesos físicos o fisiológicos que, solos, forman un sistema cerrado sin intervenciones psíquicas.

Estas alternativas monistas a las teorías dualistas a veces están complementadas por nueva información o enfoques teóricos, en los que los procesos psíquicos y mentales son considerados complejas transformaciones de datos, y la mente y el cuerpo, y la materia y la conciencia son entendidos como estructuras distintas de información. Estos enfoques son igualmente monistas y fisicomaterialistas en su estructura. El cerebro es considerado una computadora. Sin embargo, aquí, igual que en los relatos monistas recién mencionados, está muy claro cómo se vincula lo que al principio eran inquietudes puramente filosóficas con la investigación en neurofisiología y neuropsicología mediante la conexión empírica entre estados y procesos físicos y psíquicos. El futuro de la filosofía parecería estar relacionado con el de la ciencia también en el caso del problema mente-cuerpo, es decir, en el análisis científico de las intuiciones de la filosofía. Sin embargo, no deja de ser una tesis controvertida, tal como se ocupan de aclararlo las versiones modernas del dualismo.

El *self* y su cerebro

Los programas reduccionistas de toda clase, también los científicos, corren el riesgo de tirar el grano con la paja. En este caso, el problema es que, al eliminar las contradicciones dualistas, tal vez renunciemos a un problema mente-cuerpo reflexivo y no especulativo y, con él, al concepto de conciencia. Un intento moderno de prevenir este resultado es el dualismo interactivo, crítico de la reducción, de Popper y Eccles (1977), cuyos componentes centrales son una tesis antirreduccionista y una tesis del realismo (para detalles sistemáticos, véase Carrier y Mittelstrass, 1991, págs. 114-125).

Se supone que la *tesis antirreduccionista*, es decir, la afirmación de que los diferentes campos de la realidad, tales como la física, la química, la ecología/sociología no pueden reducirse uno en otro, gana apoyo de un argumento por analogía de la historia de la ciencia —históricamente, nunca ha habido reducciones exitosas, pues lo que parece ser una reducción es, en esencia, una corrección—, y por una apelación a un «argumento de creatividad» evolutivo: los niveles más altos de organización llevan a apariencias que no pueden deducirse de los procesos de los niveles más bajos. Sin embargo, estas explicaciones, cuando se examinan con cuidado, no representan una posición sostenible. Lo mismo sucede con la *tesis del realismo*, es decir, para la afirmación de que hay tres mundos: el «primer» mundo, el de los cuerpos físicos; el «segundo» mundo, el de los estados mentales; y el «tercer» mundo, el de los «pensamientos objetivos» —que ya aparece en el trabajo del lógico y matemático Gottlob Frege (1966)—, y que cada uno de estos mundos es, además, real por sí mismo. La caracterización de estos mundos como «reales» incluye la afirmación de que estos mundos pueden influirse unos a otros en forma causal en un mismo sentido. Esto tendría que valer también para la relación del Mundo 3, el mundo de las teorías, con el Mundo 2, el mundo de nuestros pensamientos, pues una «reducción» de las teorías al pensamiento no puede ocurrir según este concepto.

Esta situación filosóficamente problemática lleva a Popper y a Eccles no solo a defender la independencia dualista de los estados o los eventos y los procesos psicológicos y físicos contra el punto de vista monista, sino también a abogar por la autonomía y la identidad del *self* (o la conciencia) en oposición a sus representaciones, posición intencionalmente expresada en la frase «el *self* y su cere-

bro». Además, según esta perspectiva, el cerebro pertenece al *self*, no el *self* al cerebro. El *self* es el programador del «cerebro» de la computadora, el piloto, no el pilotado. Eccles, que ve el yo consciente, la mente consciente anclada en el Mundo 2, traduce esta idea a un lenguaje neurobiológico. De acuerdo con su hipótesis, el *self* controla e interpreta los procesos neuronales, activamente busca los eventos del cerebro que residen en su campo de interés y los integra en una experiencia unificada y consciente. De modo constante, explora las interacciones colectivas de grandes números de neuronas («módulos corticales»), que están abiertas a una interacción con el Mundo 2 («cerebro de unión»). La unidad de la experiencia consciente, en la tesis central de Eccles, está mediada por una mente consciente de sí misma y no por una maquinaria neuronal.

Sin embargo, exactamente la cuestión de cómo debemos encontrarle el sentido a esto en detalle —es decir, cómo ocurre en realidad la supuesta interacción del yo consciente o la mente consciente y su cerebro— queda tan abierta como la dejó Descartes. Como programa de investigación, este dualismo apenas va más allá del sugerido en las posturas clásicas, a pesar del lenguaje neurobiológico en el que está expresado. Tal vez es un programa más comprensivo que sus oponentes reduccionistas; sin embargo, queda por demostrar que es superior a ellos en su propio territorio, es decir, la explicación de los estados y de los procesos neurobiológicos.

Identidad y dualismo pragmático

En oposición al cuadro dualista, digamos el de Popper y Eccles, está el cuadro monista en el que los estados y los procesos neurofisiológicos y psíquicos son *idénticos*. Sin embargo, esta postura tampoco es satisfactoria, pues no puede ser respaldada por leyes físicas. La tarea de una reducción monista no está completa simplemente porque uno haya demostrado que existe una correlación de uno a uno entre los estados y los procesos psíquicos, por un lado, y ciertos estados y procesos neurofisiológicos, por el otro. No obstante, las teorías monistas tienden a apoyarse en dichas correlaciones, como sucede con la teoría de la identidad, es decir, la tesis de que los estados y los procesos psíquicos son, en el análisis final, idénticos a los físicos. Uno sostiene que un estado o un proceso psíquico *a* ocurre si y solo si puede observarse el estado o el proce-

so físico α' . Por lo tanto, ciertas sensaciones están correlacionadas con un cambio en la actividad metabólica (observada por medio de imágenes de resonancia magnética) en cierta región del cerebro. Sin embargo, no existe otro argumento a favor de su *identidad*. La situación es bastante parecida a la que encontramos en el caso de instrumentos de medición bien calibrados. Aquí también hay una correlación entre un estado del aparato de medición y un estado externo a él. Por lo tanto, la señal recibida por un dispositivo de RMI indica la presencia de protones, pero no es idéntica a ellos. De modo similar, el recorrido en una cámara de niebla señala el movimiento de una partícula, pero no es idéntico a ella. Solo una falta de conocimiento nos llevaría en estos casos a identificar (falsamente) un miembro de cada par con el otro. Además, el criterio de traducibilidad entre la terminología de una teoría a la terminología de otra no es suficiente para asegurar la identidad, pues también debe haber una traducción entre las leyes correspondientes. Por lo tanto, la sugerencia de que los estados y los procesos psíquicos han sido reducidos a estados y procesos neurofisiológicos sigue siendo una promesa no cumplida.

Ahora bien, un defensor del monismo teórico de la identidad podría aceptar todo esto y, sin embargo, seguir siendo monista en el sentido de estar comprometido con el proyecto de un *programa* de reducción, un programa que tendría, desde el punto de vista de las ciencias, la ventaja de poder completarse sin el uso de la filosofía. No obstante, en primer término, esto puede no ser una ventaja y, en segundo, aún no tenemos la certeza acerca de qué constituiría criterios rigurosos para un programa reduccionista prometedor. La referencia a otros éxitos reduccionistas en otros campos no nos ayuda más. Es, para usar la expresión de Wittgenstein, parecido a lo que sucede en la filosofía: «Una causa importante de enfermedad filosófica, una dieta unilateral: uno nutre su pensamiento solo con una clase de ejemplos» (Wittgenstein, 1953, § 593). Es decir, uno se refiere a instancias exitosas de reducción en la física y pasa por alto los fracasos en la psicología misma. El destino del programa de reducción conductista debería darnos una pausa. No existe una razón obvia por la que el programa análogo de reducción neurofisiológica tuviera que ser más exitoso.

A esta altura, tal vez ayudaría interpretar los conceptos cognitivos, es decir, aquellos conceptos que utilizamos para hablar de la conducta humana en términos no reduccionistas, como los *conceptos*

teóricos. Los conceptos teóricos son tales que no pueden traducirse al lenguaje de un lenguaje de observación independiente de la teoría; en otras palabras, conceptos cuyo significado depende de la teoría como un todo y de la condición de su adecuación empírica. Esto no significa que, en un caso en particular, a uno le falten los criterios apropiados para aplicar el concepto. Por lo tanto, también en el caso de la psicología, uno debe decidir acerca de la aplicación de conceptos teóricos específicos en una situación dada sobre la base de ciertos indicadores conductuales, sin que ello suponga que su significado está agotado por la suma de estos indicadores. Al introducir la noción de conceptos teóricos en nuestro análisis, deseo llamar la atención sobre el hecho de que es una propiedad de los conceptos científicos fructíferos que tengan «exceso de significado»; en otras palabras, que su significado se extienda más allá de su contenido operativo. Son conceptos abiertos, cuyos criterios de aplicación pueden cambiar en el curso del desarrollo científico. Por el contrario, parecería que el programa de reducción monista, seguido por los teóricos de la identidad, restringe los conceptos psicológicos a una serie de indicadores neurofisiológicos. Y esto es, desde el punto de vista de la filosofía de la ciencia, la postura defendida en la década de los veinte. ¿Por qué la filosofía de la biología debería repetir los errores de la filosofía de la física?

Por supuesto, esta es una forma de argumento que deriva de la filosofía de la ciencia y no es un argumento biológico o neurofisiológico. La pregunta ontológica con respecto a la identidad de la conciencia o de la mente con estados y procesos neurofisiológicos se transforma en una pregunta teórica de la ciencia, es decir, la pregunta de si los conceptos psicológicos independientes son, en principio, fructíferos, o si han de evitarse. Martin Carrier y yo argumentamos a favor de su productividad y, por lo tanto, de un *dualismo pragmático*. Al hacerlo, no se presentaron fundamentos para una distinción fáctica entre los estados y los procesos físicos y psíquicos, sino solo fundamentos para la afirmación de que es mejor no negar dicha distinción desde el inicio. Expresado en forma positiva: los conceptos psicológicos (cognitivos) independientes pueden ser defendidos sobre la base de su *valor explicativo*. Ya sea que estos conceptos tengan o no una referencia ontológica es una pregunta básica en la filosofía de la ciencia respecto de la referencia de términos teóricos, pregunta que es tema de un activo debate. Sin embargo, ello significa que no puede suponerse que se resuelva de antemano en el campo neurobiológico único.

Desde esta perspectiva, la crítica reduccionista del dualismo, según la cual la mente desempeña el dudoso rol del *deus ex machina*, es metodológicamente prematura, tanto más cuando el lado reduccionista y el monista afirman que nuestro cuadro del mundo siempre es una construcción (Pöppel, 1985, págs. 66s.). Pues lo que es verdad de este cuadro también debe serlo de nuestro conocimiento biológico de los procesos de la conciencia. Para expresarlo de un modo diferente: si todo lo que normalmente sabemos acerca del mundo es, por lo menos parcialmente, una construcción del cerebro, entonces lo que la biología sabe acerca del cerebro tampoco puede existir sin estar tocado por dichas construcciones.

Este punto de vista, sin duda, es compartido por algunos investigadores neurobiológicos, aunque ellos mismos están persiguiendo un programa en esencia *reduccionista*, es decir, el que explica las capacidades cerebrales de alto nivel, tales como la sensación, la conducta intencional y la conciencia sobre la base de una formulación (reduccionista) de las leyes y la dinámica interactiva de los diferentes componentes del cerebro. Por lo tanto, el neurobiólogo Otto Creutzfeldt (1981) habla de la capacidad del cerebro humano para la representación simbólica y, por lo tanto, enfatiza que los símbolos no son producto del sistema nervioso, tampoco son el sistema nervioso, ni tampoco el mundo mismo. El propio Creutzfeldt saca una conclusión dualista, expresada sin rodeos en la observación de que «el dualismo, es decir, pararse frente a uno mismo, es la naturaleza de la conciencia» (Creutzfeldt, 1981, pág. 42). Claramente, esta no es una afirmación neurofisiológica, sino más bien una *filosófica*. Con respecto a lo que se ha dicho acerca de un dualismo pragmático, no necesariamente tiene que ser uno sin sentido o superfluo. Esto también es verdad, aunque con algunas restricciones, de las siguientes afirmaciones: los símbolos, es decir, «la representación simbólica que el cerebro hace de la realidad, no solo se refieren al mundo, sino que más bien forman independientemente su propio mundo, al que nuestro cerebro, a su vez, se refiere en forma constante: el mundo de la mente» (Creutzfeldt, 1981, pág. 42). O bien: «Ninguna teoría reduccionista hace justicia a esta esencia de la conciencia. Todas captan solo un lado, es decir, los mecanismos del cerebro, pero no el otro, el mundo de los símbolos, con el que estos mecanismos y, a través de ellos, el cerebro, se confrontan y que son tan reales como el mundo natural» (Creutzfeldt, 1981, pág. 43).

«El mundo de la mente», «la unidad de la conciencia», estas fórmulas respiran el espíritu de la filosofía clásica, no el de la relativamente sobria y moderna filosofía de la ciencia. Sin embargo, también son compatibles con el dualismo que defiende aquí, respecto del énfasis puesto sobre el carácter *constructivo* de nuestras orientaciones, incluidas las orientaciones científicas, y el rechazo de la tesis reduccionista de una identidad de los mecanismos del cerebro y la conciencia. Lo que en realidad es crucial en todo esto no es que la mente pura está otra vez ubicada por sobre la biología, sino más bien que la práctica de la biología es vista en sus programas de investigación teórica desde la perspectiva de la aclaración metodológica. Si la «unidad de la conciencia» o la «realidad» impuesta del mundo simbólico tienen que ver con esto es una cuestión de importancia secundaria.

La conciencia y la autocomprensión

Hasta el momento, mi debate puede haber dado la impresión de que la tarea de la filosofía en cuestiones relacionadas con la conciencia y el problema mente-cuerpo está completa cuando estas cuestiones teóricas de la ciencia se hayan aclarado y, por lo tanto, que las afirmaciones, tales como las hechas por Popper, Eccles y Creutzfeldt son excursiones ilegítimas más allá de esas fronteras. Esto bien puede ser valedero en el caso del dualismo interaccionista de Popper y Eccles. No obstante, ello no significa que el interés de la filosofía se limite al campo de la filosofía de la ciencia. La conciencia es, desde el punto de vista filosófico, no solo un concepto científico; sin duda considerado históricamente, este sentido del término es poco común. Por lo tanto, la filosofía no se restringe a analizar ese sentido de «conciencia» que la ciencia busca explicar. Según las palabras de Creutzfeldt, nadie «negaría que nuestras experiencias y reacciones están basadas en la capacidad del sistema nervioso de recoger ciertos estímulos físicos, decodificarlos como secuencias de potenciales de acción y transformar esta información en secuencias apropiadas de los sistemas motores, lo cual da una explicación suficiente al reduccionismo» (Creutzfeldt, 1981, pág. 33). Sin embargo, eso no es, desde el punto de vista de la filosofía, lo que la conciencia es en primer lugar.

Los filósofos no deberían esperar resolver problemas que la ciencia puede resolver mejor. En otras palabras, aquellos problemas que se definen científicamente y no como problemas filosóficos. Su tarea es producir claridad en todos los campos de nuestra autocomprensión y la comprensión de nuestra situación, incluida nuestra comprensión científica. Asumen esta última tarea cuando hacen filosofía de la ciencia. Lo que es peculiar de la filosofía aquí es que cumple con su tarea mediante el *pensamiento* y no mediante la *investigación*. Esto no significa, por supuesto, que la investigación no incluya el pensamiento, sino que la reflexión filosófica no es investigación del mismo modo en el que la ciencia —a la luz de teorías y métodos empíricos— incluye la investigación. «Conciencia», «autoconocimiento», «ego», pero también «autocomprensión» son títulos de esta forma específicamente filosófica de orientarnos en el pensamiento y a través del pensamiento. Y esta orientación no es un lujo cultural que se da una sociedad racional junto a su vida cotidiana de trabajo y la formación de conocimiento científico; tampoco puede dárselo la ciencia misma. Directamente formulada, la pregunta de Sócrates acerca de la comprensión adecuada del hombre de sí mismo y de su situación no está respondida, ni siquiera se facilita su respuesta aumentando nuestro conocimiento científico del cerebro. Por otra parte, esto significaría que creíamos (de un modo científicista) que entenderíamos todo si nos entendíamos a nosotros mismos desde una perspectiva neurofisiológica. En este sentido, el dualismo respaldado aquí no es solo un dualismo a los fines *teóricos*, sino también a los *prácticos*.

Desde luego, esto no debería tomarse como una invitación para que todos los filósofos continúen alegremente hablando acerca de la mente, la conciencia, etcétera, como si la neurofisiología y la psicología científica nunca se hubieran inventado. El conocimiento científico nos ayuda a evitar la ingenuidad con la que las opiniones filosóficas tienden a ponerse en el lugar de la investigación científica. También es importante recordar los resultados dentro de la filosofía del lenguaje respecto del problema mente-cuerpo, por ejemplo, las críticas de Wittgenstein de la confusión filosófica entre los enunciados que emplean conceptos mentales y las declaraciones respecto de la realidad de un mundo psíquico.

Desafortunadamente, esta declaración del problema mente-cuerpo como un seudoproblema (por ejemplo, por parte de Wittgenstein) no es concluyente. Si lo fuera, solo tendríamos la opción entre las opiniones no comprometidas o la ciencia estricta. Sin

embargo, esta describe un mundo de la vida en el que el sujeto apenas puede reconocerse: «El mundo se presenta al cerebro mediante los órganos de los sentidos. Una vez aquí, su unidad se divide en una multiplicidad de formas fenomenales, en la medida en que cada órgano de los sentidos responde solo a un espectro limitado de energía: el ojo, al limitado sector de longitud de onda de la luz “visible”, el oído, a la estrecha área de las vibraciones mecánicas, el sentido del tacto a la radiación de calor de onda larga y a las vibraciones mecánicas de menor frecuencia, y los sentidos del olfato y el gusto, a un área estrechamente restringida de concentraciones de ciertas moléculas. El mundo, como se nos presenta, se limita, en consecuencia, a un pequeño sector de los fenómenos físicos y químicos. Este es nuestro mundo de la vida» (Creutzfeldt, 1981, pág. 34).

¿Así es en realidad nuestro mundo de la vida? Lo que dije antes respecto del dualismo pragmático y las construcciones de la realidad indica otra cosa. Además, somos seres vivos que construimos no solo el mundo en el que vivimos, sino que también nos construimos a nosotros mismos, en el sentido de que vivimos en nuestra propia autocomprensión y con ella. Construir el conocimiento científico de uno mismo y construir nuestra propia autocomprensión son dos cosas muy diferentes. Y la última construcción es parte de lo que nos referimos cuando hablamos de conciencia. Hasta aquí podemos estar de acuerdo con Popper cuando dice: «¿Cómo logramos el conocimiento de nosotros mismos? No mediante la autoobservación (...), sino más bien convirtiéndonos en un “yo” y desarrollando teorías acerca de uno mismo» (Popper y Eccles, 1977, pág. 45). Incluso la afirmación de que el «yo» no pertenece al cerebro, sino más bien que el cerebro pertenece al «yo», es validada cuando uno la observa desde una perspectiva práctica, del mundo de la vida, y no desde una perspectiva teórica de la ciencia. Solo debemos pensar en el caso de alguien que va a su escritorio y se dice a sí mismo que *piense* (por ejemplo, porque debe llevarse a cabo una conferencia acerca del problema mente-cuerpo o del problema de la conciencia). ¿Acaso el conocimiento científico cambia la problemática de esta situación de alguna manera? Ciertamente no. Sabemos bastante bien lo que queremos decir cuando nos describimos como amos en nuestro propio hogar, al que pertenece nuestro cerebro. Las explicaciones «científicas», tales como las buscadas por el dualismo y el monismo, son superfluas aquí.

Esto no debería conducir a la consecuencia de que las culturas filosófica y científica se instalan en islas distantes, menos aún

cuando estamos ocupados con preguntas para las que cada una de ellas tiene una respuesta, pero para las que resulta que cada una está respondiendo una pregunta distinta. Creutzfeldt, que ha sido citado unas cuantas veces aquí, concluye su análisis observando que «La respuesta del neurofisiólogo es el comienzo del cuestionamiento del filósofo» (Creutzfeldt, 1981, pág. 43). Esto ciertamente es verdad, por lo menos en este caso, pues muchos filósofos afirman tener un conocimiento científico que, de hecho, no tienen. Sin embargo, también es verdad que la respuesta a la pregunta del filósofo debería estar guiada por la ciencia. De otro modo, de lo que se acusa a la filosofía con tanta frecuencia (y, por desgracia, con razón) sería valedero: que busca escaparse de la realidad mediante la especulación en lugar de comprenderla mediante el pensamiento.

Referencias

- Carrier, M. y Mittelstrass, J. (1991). *Mind, Brain, Behavior: The Mind-Body Problem and the Philosophy of Psychology*, Berlín y Nueva York, de Gruyter.
- Creutzfeldt, O. (1981). «Bewusstsein und Selbstbewusstsein als neurophysiologisches Problem der Philosophie», en *Reproduktion des Menschen: Beiträge zu einer interdisziplinären Anthropologie*, Fráncfort, Berlín y Viena (*Schriften der Carl-Friedrich-von-Siemens-Stiftung* 5), págs. 29-54.
- Descartes, R. (1964-1974). *Oeuvres*, I-XII, C. Adam y P. Tannery (comps.), París, Vrin, 1897-1910, nueva edición, I-XI, 1964-1974.
- Frege, G. (1966). «Der Gedanke: Eine logische Untersuchung (1918/1919)», en G. Frege, *Logische Untersuchungen*, G. Patzig, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht (comps.), págs. 30-53.
- Mittelstrass, J. (1998). «Das philosophische Kreuz mit dem Bewusstsein», en M. Stamm (comp.), *Philosophie in synthetischer Absicht-Synthesis in Mind*, Stuttgart, Klett-Cotta, págs. 21-35.
- Pöppel, E. (1985). *Grenzen des Bewusstseins: Über Wirklichkeit und Welterfahrung*, Stuttgart, Deutsche Verlagsanstalt.
- Popper, K. R. y Eccles, J. C. (1977). *The Self and Its Brain: An Argument for Interactionism*, Heidelberg, Springer-Verlag.
- Wittgenstein, L. (1953). *Philosophical Investigations*, Nueva York, Macmillan.

Cómo comprender la mente, el cerebro y la educación como un sistema en desarrollo, complejo y dinámico: Medición, modelado e investigación

Paul van Geert y Henderien Steenbeek

Introducción

El desarrollo y la educación humanos pueden beneficiarse a partir de un marco que analice el comportamiento y el cambio cerebral como factores que involucran procesos de sistemas dinámicos. Los investigadores de los sistemas dinámicos construyen modelos específicos concentrándose en los procesos de cambio en el aprendizaje y la enseñanza, comenzando con los patrones de crecimiento individual e incluyendo, en los modelos matemáticos, capas y escalas múltiples de interacción casual. Estos modelos desvían el foco de investigación y de evaluación hacia el comportamiento individual, las fluctuaciones en el tiempo y la combinación del cambio gradual con los cambios periódicos abruptos en el desempeño y los patrones cerebrales. Los modelos de sistemas dinámicos explican y predicen importantes propiedades del aprendizaje y la enseñanza, como el cambio no lineal y la autoorganización (aumento espontáneo del orden y la información). Con facilidad combinan procesos al parecer opuestos en la misma teoría y modelo, tal como el gen frente al medio o el individuo frente al contexto / cultura, característica denominada superposición. Las mediciones deberían involucrar el tipo de evaluación que los maestros y las escuelas hacen diariamente en las aulas: medidas repetidas de comportamiento individual. Los modelos entonces proporcionan formas de analizar los fenómenos educativos comunes, como la variabilidad en el desempeño, la am-

bigüedad del comportamiento y la especificidad del contexto. Un enfoque dinámico promete proporcionar herramientas útiles para comprender los complejos cambios individuales que tienen lugar durante la educación y el desarrollo del niño.

Los compiladores

El desarrollo humano constituye un sistema complejo. Rocha (1997) define un sistema complejo como «...todo sistema que presente una gran cantidad de componentes que interactúan (agentes, procesos, etc.)... cuya actividad conjunta no es lineal (no puede derivarse de la suma de la actividad de los componentes individuales)... y habitualmente exhibe... autoorganización...». En esta definición, la complejidad no solo se relaciona con aspectos cuantitativos (gran número de componentes), sino también con aspectos cualitativos específicos (no linealidad y autoorganización). Nuestro trabajo científico está dirigido a la comprensión de esta complejidad que, en forma inevitable, implica la reducción de la complejidad a algo que sea lo suficientemente simple para que nuestras mentes humanas lo comprendan. Los sistemas complejos no pueden comprenderse sin tener en cuenta la complejidad, lo que significa que, por mucho que simplifiquemos, deben preservarse las principales características cualitativas del sistema complejo. Estas características cualitativas son centrales para nuestra comprensión del sistema.

La práctica estándar de simplificar la complejidad de los fenómenos del desarrollo y del crecimiento es linealizarlos. Un método de investigación estándar es tomar un lapso lo suficientemente corto para permitir la causalidad unidireccional y lineal. Por ejemplo, realizamos una intervención y luego estudiamos sus efectos posteriores inmediatos, bajo la forma de un cambio en alguna variable de interés. Otro método es medir las variables independientes de sujetos independientes, es decir, en la investigación transversal. Se considera que los sujetos son representativos de una categoría subyacente, es decir, la categoría de los niños de «cinco años» o «con DDAH». En este diseño, toda variación que no covaríe con nuestras variables independientes debe llamar la atención.

Al aplicar esta linealización a los fenómenos del desarrollo, podemos simplificar su complejidad y obtener una percepción con-

siderable de un gran número de relaciones que tienen lugar en el sistema complejo.

La pregunta crucial es, sin embargo, *si esta forma de simplificación ha preservado las características esenciales del sistema de desarrollo, complejo y dinámico*. Si no lo ha hecho, ¿cómo podemos simplificar y estudiar el fenómeno de manera tal que nuestro enfoque permanezca fiel a estas características esenciales? Para responder estos interrogantes, comenzaremos presentando una descripción breve, aunque exhaustiva, de lo que consideramos características o propiedades esenciales de los sistemas complejos y dinámicos. Luego continuaremos analizando, en primera instancia, cómo estas características o propiedades esenciales de la complejidad afectan los aspectos generales de la medición de variables psicológicas del desarrollo y, en segunda instancia, cómo afectan la construcción de teorías y de modelos, y la prueba empírica de las hipótesis. El análisis de estos temas en secciones separadas es meramente una cuestión de conveniencia, dado que están relacionados en forma intrincada. La respuesta a nuestra pregunta crucial será que, en general, la práctica estándar de la investigación del desarrollo no preserva las características esenciales de la complejidad. No obstante, apuntamos a mostrar que es posible conciliar nuestro enfoque familiar para el estudio del desarrollo con aquellas características del desarrollo que pertenecen a su naturaleza compleja y dinámica, y cómo hacerlo.

Características o propiedades esenciales de sistemas complejos

No linealidad y autoorganización

La no linealidad significa que los efectos de las variables o de las fuerzas no pueden describirse como la suma de las funciones de las variables causales. La autoorganización implica que, en sistemas complejos, el orden macroscópico (estructura, información...) aumenta en forma espontánea como consecuencia de un consumo de energía de orden inferior. La autoorganización está íntimamente relacionada con la no linealidad, en el hecho de que la autoorganización es, en sí misma, un efecto no lineal de las causas subyacentes (por ejemplo, puede surgir de repente, sin un cambio obvio en los factores causales subyacentes).

La autoorganización es lo opuesto a la transmisión. Por ejemplo, si concebimos la enseñanza como una forma de transmisión de conocimiento, sugerimos que una estructura (el conocimiento) presente en un lugar (el maestro) es llevada a otro lugar (el estudiante). La transmisión está siempre sujeta a la pérdida natural de información (aumento de entropía, la segunda ley de la termodinámica). La pérdida espontánea de orden o de información en los sistemas de transmisión requiere que la información transmitida se sobredetermine (que se repita varias veces, por ejemplo). Mediante dicha sobredeterminación o repetición, la pérdida de información debida a la transmisión debe repararse. Si la sobredeterminación no es posible (tal es el caso en el modelo chomskiano de la adquisición del lenguaje), el orden, la estructura o la información deben ubicarse en el sistema con antelación, por ejemplo, en forma de módulos innatos.

La autoorganización, por otro lado, implica que ciertos sistemas, en particular los sistemas que ya están sumamente ordenados y estructurados (por ejemplo, un sistema que consista en alumnos y un maestro, o un estudiante de idiomas en un ámbito normal), exhiben un aumento espontáneo del orden, la estructura o la información. Por lo tanto, en un sistema que se autoorganiza, la transmisión de información (como en un proceso de enseñanza) puede conducir a la construcción de estructuras que son más complejas y más completas que la información misma transmitida (por ejemplo, el efecto del aprendizaje en algunos de los estudiantes excede el contenido de la enseñanza). En la actualidad, se ha demostrado la autoorganización en un gran rango de fenómenos del desarrollo (véanse, por ejemplo, Roubertoux y Carlier, 2002; Gottlieb, Wahls-ten y Lickliter, 1998; Ford y Lerner, 1992).

Una cuestión importante se refiere a los indicadores empíricos de la autoorganización. El primer indicador es la presencia de un incremento del orden o de la estructura que va más allá del orden y la estructura presentes en el «*input*». El incremento del orden y de la estructura es el signo distintivo del desarrollo, pero no resulta fácil mostrar que dicho orden excede el orden del «*input*» (el ámbito de enseñanza y de aprendizaje). Hay que advertir que, en el enfoque chomskiano del desarrollo del lenguaje, el argumento de la «pobreza del estímulo» potencialmente brinda un fuerte apoyo a la idea de que la adquisición del lenguaje debe ser, de hecho, un proceso de autoorganización. Desafortunadamente, debido al enfoque choms-

kiano, la autoorganización no era una opción posible; el argumento de la «pobreza del estímulo» se ha empleado para mostrar que la estructura del lenguaje debe ser innata. Por último, los indicadores empíricos adicionales de la autoorganización son la ocurrencia de discontinuidades en el desarrollo, los estadios, las regresiones temporarias, el crecimiento en forma de U invertida y otros.

Superposición

La superposición, la segunda característica de la complejidad, significa que un fenómeno está caracterizado por dos propiedades a la vez (al parecer) incompatibles. La noción de superposición se usa, en un sentido definido formalmente, en la física cuántica, donde se relaciona con un tipo particular de incertidumbre, por ejemplo, acerca de la posición o la energía de una partícula. En el contexto del complejo sistema mente-cerebro-y-educación, existe una versión no formal de la superposición. Con frecuencia ocurre en el contexto de preguntas tales como «¿el cerebro explica la mente?», «¿el desarrollo está explicado por los genes o por el medio, o, en parte, por ambos?», «¿el aprendizaje es una cuestión de transmisión o de autoorganización?», «¿el conocimiento es una sustancia (una estructura física del cerebro) o es un proceso?», «¿debería distinguirse (clínicamente) a las personas sobre la base de categorías (por ejemplo, como en el manual de diagnóstico psiquiátrico) o sobre la base de dimensiones?», entre otras.

Estas preguntas pueden responderse con (relativa) facilidad linealizándolas, por ejemplo, estudiando la asociación entre genes y comportamiento en una vasta muestra de sujetos independientes. Sin embargo, estas soluciones también conducen con facilidad a paradojas (aparentes). Es decir, si uno compara las diferencias en la inteligencia promedio entre generaciones (por ejemplo, la cohorte de 1900 y la de 1950), las diferencias se explican, en su mayoría, por cambios ambientales (históricos) (véase, por ejemplo, el aumento promedio en el CI a lo largo de generaciones, conocido como el efecto Flynn). Sin embargo, si uno compara las diferencias en la inteligencia de personas de la misma generación, que viven en un medio que ofrece oportunidades fácilmente accesibles para todos, las diferencias se explican, en gran parte, por los genes. Por lo tanto, es posible que para una persona en particular nacida en 1950,

la inteligencia esté, a la vez, (casi) completamente determinada por el medio y (casi) completamente determinada por los genes. La naturaleza paradójica de esta conclusión disminuye tan pronto nos damos cuenta de que los genes y el medio están encerrados en una compleja cadena de pasos a lo largo del tiempo y que no pueden concebirse como variables que hacen contribuciones mutuamente independientes al desarrollo.

En cierta medida, los indicadores empíricos de la superposición son indirectos. Por ejemplo, si ciertas cuestiones, como la cuestión gen-medio, perduran tras muchos años de debate científico, y si las posturas cambian de un lado a otro, es probable que la cuestión conlleve una superposición que no es capturada por las simplificaciones hechas en las soluciones presentadas. En una escala de investigación mucho más pequeña, si los observadores del comportamiento continúan estando en desacuerdo respecto de ciertas categorizaciones que se supone que deben hacer, independientemente de cuán bien hayan sido entrenados como observadores, es probable que la categoría misma sea ambigua, es decir, que tenga propiedades de ambas categorías sobre las cuales los observadores no pueden ponerse de acuerdo (para un análisis, véase Van Geert y Van Dijk, 2003).

Un indicador empírico directo de la superposición, en particular en el contexto del desarrollo, son las aristas en la variabilidad intraindividual. El comportamiento y el desempeño humanos son intrínsecamente variables y fluctuantes, pero a veces estas fluctuaciones tienen picos. Dichos picos con frecuencia indican transiciones de un estado, nivel o etapa de desarrollo a otro, y es probable que sean causados por la superposición temporal de los dos estados, niveles o etapas. La superposición implica que, en cierto momento, el niño funciona en un estado o nivel y, en otro momento, en otro estado. La Figura 5.1 da un ejemplo de los datos de desarrollo de la lengua de un niño (Bassano y Van Geert, 2007). Las emisiones se dividieron en grupos, según tres funciones de generación propuestas, un generador holofrástico que produce oraciones de una palabra, un generador combinatorio que produce oraciones de dos a tres palabras, y un generador sintáctico que produce oraciones de cuatro palabras y más y, por defecto, también oraciones que constan de una a tres palabras. El patrón de desarrollo adquiere la forma de curvas que se superponen, que representan las frecuencias de los tipos de emisiones. El análisis de los patrones de variabilidad

exhibió dos picos, que probablemente se correspondían con la adquisición del generador holofrástico (de una palabra) por parte del generador combinatorio, y del generador combinatorio por parte del generador sintáctico.

Sustancia y proceso

Un tercer rasgo o característica esencial de los sistemas dinámicos complejos es que se basan en la síntesis de la sustancia y el proceso. La «sustancia» se refiere a la existencia tangible, física y permanente de las estructuras y los objetos físicos. El proceso se refiere a la sucesión temporal de cambios relacionados causalmente en las sustancias. Dada nuestra estructura humana y cognitiva, resulta más fácil comprender qué es una sustancia que qué es un proceso, y, por ello, se prefieren las explicaciones de sustancia en lugar de los modelos de procesos más efímeros. La idea de un cerebro como sustancia física que contiene las causas del comportamiento en algún formato de sustancia, en la actualidad, recibe un importante interés científico. El aspecto de la sustancia se demuestra mediante la búsqueda de regiones o de partes del cerebro específicas y localizables que son responsables, de alguna forma específica, de la actividad cognitiva, por ejemplo, la lectura o el manejo de los números. Sin embargo, por más interesantes que sean esos estudios de localización, debe advertirse que no ofrecen una explicación del proceso de lectura o del pensamiento con números (en la prensa popular, al menos, el hallazgo de un «sitio del cerebro que lo hace» con frecuencia se presenta como una explicación última del proceso en cuestión). Además, las regiones localizadas son «reales» solo en cierta medida, puesto que son el resultado de realizar un promedio entre sujetos y ocasiones, además del hecho de que se refieren solo a regiones de mayor actividad y no a lugares únicos donde la tarea en cuestión se lleva a cabo sin la ayuda de regiones menos activas (véanse, por ejemplo, Mazoyer y Tzouriou-Mazoyer, 2002; Beau-lieu, 2000; Uttal, 2001).

La teoría de sistemas dinámicos de Thelen y Smith (Thelen y Smith, 1994) presenta un fuerte argumento contra la interpretación de la sustancia del conocimiento. Estos se oponen con firmeza a interpretar el conocimiento y los conceptos como si se tratara de una «máquina» fija en el cerebro que produce el comportamiento en

el cual este conocimiento y comportamiento se expresan. En su opinión, el conocimiento, los conceptos y las habilidades, entre otros, son procesos. Consideran que estos elementos están ensamblados con poca firmeza, es decir, que son entidades locales y temporales que no tienen existencia fuera del proceso en el cual surgen. No obstante, es una característica de la complejidad de la cognición humana que el conocimiento y los conceptos sean, a la vez, sustancia y proceso, que sean, a la vez, transitorios y que estén «ensamblados con poca firmeza», por un lado, y sean entidades de la mente causales y condicionales, por el otro. Adviértase que este hecho está estrechamente relacionado con la propiedad de superposición explicada en el párrafo anterior. Esta relación ilustra un punto más general, a saber, que *todas* las propiedades de la complejidad están relacionadas entre sí.

¿Hay indicadores empíricos para esta superposición de la sustancia y el proceso? Un importante indicador es la variabilidad intraindividual misma (nótese que, en la sección sobre la superposición, nos concentramos en los *picos* de la variabilidad intraindividual como principal indicador empírico). Si los fenómenos psicológicos, como el conocimiento o las habilidades, están a la vez «fuertemente conectados» (en el cerebro) y son el producto de los procesos que necesariamente involucran contextos y medios, para cualquier persona en particular fluctuarán o variarán en formas características. El grado de variabilidad determina si un fenómeno puede describirse más fidedignamente como sustancia (si la variabilidad es baja) o como proceso (si la variabilidad es alta).

La naturaleza multicapa y multiescala de la causalidad

El cuarto rasgo o característica esencial de un sistema dinámico complejo es que consta de muchas capas y de muchas escalas temporales, por ejemplo, las capas del individuo, grupo, sociedad, cultura y especie, y las escalas de tiempo microgenético, ontogenético, histórico y evolutivo. Está claro que muchos problemas relacionados con el estudio del desarrollo pueden abordarse aislando una capa o una escala en particular, pero muchas otras requerirán justificar de modo explícito las interacciones entre las capas o las escalas. Una de las piedras angulares del programa vygotskiano, por ejemplo, que se formuló hace unos ochenta años, fue el estudio

de las interrelaciones entre el desarrollo histórico de la sociedad y la ontogénesis del individuo (Vygotsky, 1978). Las relaciones entre estas capas de organización y entre las escalas temporales correspondientes son inherentemente mutuas.

El principio de causalidad mutua o recíproca está justificado de modo explícito en los modelos de crecimiento dinámico (Van Geert, 1991, 1994, 1998; Fischer y Bidell, 2006; Fischer, este libro). Conciben el desarrollo como una red de componentes que interactúan y albergan relaciones de apoyo, competitivas y condicionales. Las relaciones son recíprocas, pero no necesariamente simétricas. Por ejemplo, es probable que una estrategia lingüística anterior mantenga una relación de apoyo con una estrategia lingüística posterior, más compleja. Esta última, sin embargo, puede tener una relación competitiva con su predecesora (véase Bassano y Van Geert, 2007). Al modelar dichas redes de acción recíproca, es posible comprender la aparición de etapas, regresiones temporales, crecimiento en forma de U invertida, entre otros.

La naturaleza multicapa de la causalidad del desarrollo también se expresa en el hecho de que las propiedades de los sistemas complejos están (con frecuencia) distribuidas a lo largo de muchos componentes. Cosas tales como «conceptos» o «conocimiento» son definitivamente propiedades de las personas. Si pensamos en ellas, no podemos verlas más que como propiedades internas. No obstante, la complejidad de la tarea que dichas propiedades tienen que cumplir, por ejemplo, moverse en un mundo real o resolver un problema matemático, excede en mucho las posibilidades de una base de conocimiento representada internamente. Por lo tanto, nuestro conocimiento y nuestros conceptos se basan fuertemente en las propiedades del mundo exterior y, en ese sentido, nuestro conocimiento es una propiedad denominada distribuida y situada (Clark, 1997). Está situada no solo en el contexto físico, sino también en el social (por ejemplo, computadoras y colaboradores humanos). Las herramientas externas que se crean para mejorar la cognición y la acción no son solo apéndices externos que, en sí mismos, no afectan los procesos internos que respaldan. A largo plazo —y es el largo plazo lo que cuenta en los procesos de desarrollo e históricos—, darán forma a los procesos internos mismos, a saber, seleccionando aquellas habilidades internas que mejoran el uso de las herramientas externas. A modo de ejemplo, en la historia de la escritura, los signos escritos originalmente eran ayudas nemotécnicas externas,

pero, desde entonces, se han convertido en un tipo completamente nuevo de habilidad cognitiva, desde el punto de vista evolutivo, es decir, la lectura y la escritura. Estas habilidades han sido «adoptadas» por regiones de nuestros cerebros que podían manejarlas (véase Dehaene, este libro, y Wolf, este libro). Sin embargo, es sumamente probable que la evolución misma de la lectura y la escritura haya sido modelada por las propiedades de las funciones del cerebro por las cuales estas habilidades fueron adoptadas.

¿Cuáles son los indicadores empíricos de la naturaleza multicapa y multiescala del desarrollo? Un indicador directo es el hallazgo de una diferencia entre los mecanismos que gobiernan la evolución a corto plazo de un proceso y aquellos que gobiernan su cambio a largo plazo. Otro indicador es el hallazgo de una diferencia entre las estructuras descubiertas mediante el análisis de las diferencias entre los individuos de una población (por ejemplo, la estructura del factor de la personalidad o la inteligencia) y las estructuras halladas mediante el análisis de las diferencias dentro de un individuo (por ejemplo, como resultado de un análisis de un factor dinámico de medidas repetidas en un único individuo, véase Molenaar, 2004). El problema es que la investigación sobre las trayectorias individuales es limitada y, por lo tanto, la evidencia sobre dichas diferencias es escasa —una excepción es el estudio del control percibido y el desempeño académico de Musher-Eizenman y cols. (2002)—.

Acabamos de revisar cuatro rasgos o características esenciales de los sistemas dinámicos complejos, es decir, la no linealidad y la autoorganización, la superposición, la sustancia y el proceso y, por último, la naturaleza multicapa y multiescala de la causalidad. Hemos sugerido indicadores empíricos, a saber, propiedades que indican la presencia de estos rasgos en un proceso o fenómeno. Ahora, aplicaremos estos rasgos o características a un aspecto importante de la investigación del desarrollo, es decir, la medición del desarrollo.

Aspectos de la complejidad en la medición del desarrollo

Confusión y ambigüedad frente a la incertidumbre

La mayoría de los fenómenos que nos interesan —el nivel cognitivo de un niño, la capacidad de lectura, la cognición social y

otros— son, en sí mismos, variables complejas, es decir, variables que heredan todas o muchas de las propiedades de los sistemas complejos en los que aparecen. Ya hemos mencionado un grupo interesante de indicadores empíricos de la complejidad, que ante todo estaba relacionado con la característica de la superposición, es decir, de la ambigüedad y la paradójicalidad manifiesta. Estas características están directamente relacionadas con el tema de la medición del desarrollo.

Por ejemplo, si evaluamos expresiones emocionales durante una interacción entre niños, con frecuencia nos veremos confrontados con la naturaleza confusa o incluso ambigua de dichas emociones, que resolvemos imponiéndoles suposiciones simplificadoras, como reduciéndolas a una variación unidimensional de expresiones negativas a positivas (véase, por ejemplo, Steenbeek y Van Geert, 2002). Otro ejemplo es la interpretación de categorías sintácticas en el lenguaje temprano del niño, como las preposiciones y los verbos. En general, no existe un límite estricto entre una palabra que es una preposición y una que todavía no lo es, por ejemplo (Van Dijk y Van Geert, 2005; Van Geert y Van Dijk, 2002, 2003). El hecho de que, en este caso, una palabra sea algo entre un verbo y una preposición es un ejemplo de confusión: una distinción categórica que parece involucrar una exclusividad mutua (una palabra es una preposición o no lo es) conlleva gradualidad (hay una transición gradual entre una palabra que no es preposición y una preposición). Esta transición gradual puede cuantificarse, es decir, la confusión puede justificarse de un modo formal (Van Geert y Van Dijk, 2003). La transición gradual entre categorías crea ambigüedad, por ejemplo, si una palabra representa algo entre un verbo y una preposición, es tanto un verbo como una preposición y, a la vez, no es ninguna de las dos. Por lo tanto, la palabra es ambigua en términos de categorización sintáctica.

La confusión y la ambigüedad de las variables a menudo se interpretan como el resultado de una falta de información. En este sentido, el fenómeno está claramente determinado, es esto o aquello, pero el observador aún carece de la información (o de la capacidad) de determinar cuál de los dos es. En otras palabras, la confusión y la ambigüedad no son otra cosa que incertidumbre. Está claro que hay muchas instancias en las que la confusión y la ambigüedad, que provocan, por ejemplo, el desacuerdo entre los observadores, están causadas, de hecho, por información insuficiente

o por falta de experiencia de los observadores y puede resolverse obteniendo más información o mediante una mayor capacitación de los observadores. Sin embargo, si la confusión y la ambigüedad son parte de la naturaleza misma de los fenómenos que estudiamos, debemos intentar hacer una distinción entre las observaciones donde la confusión es real y las observaciones en las que, de hecho, se debe a una falta de información. En situaciones en las que la confusión es real, debemos intentar objetivarla tratando de cuantificarla (del mismo modo en el que la incertidumbre es cuantificable especificando un intervalo de confianza). Por ejemplo, en vez de emplear el disenso entre evaluadores como un indicador de error de medición (cuanto mayor disenso, mayor el error), el disenso entre los observadores bien informados y capacitados que comparten el mismo grupo de criterios y de habilidades de calificación puede utilizarse como información cuantificable acerca de la ambigüedad y la confusión intrínsecas de las categorías que tienen que evaluar (para una aplicación en el campo del desarrollo del lenguaje, véase Van Geert y Van Dijk, 2003).

En la evaluación clínica, la incertidumbre —nosotros, sin embargo, la llamaríamos verdadera confusión— con frecuencia es un problema, por ejemplo, la incertidumbre de que un niño «tenga» o «no tenga» DDAH. ¿Acaso se resolvería la incertidumbre —o la confusión, para el caso— si los indicadores conductuales pudieran relacionarse con los indicadores objetivos, como regiones particulares del cerebro que son más activas en los niños con DDAH «real», por ejemplo? En nuestro análisis de la tercera característica de los sistemas dinámicos complejos, la superposición de la sustancia y el proceso, ya hemos afirmado que la identificación de una propiedad de una sustancia, como una región particular del cerebro, no resuelve el problema de, por ejemplo, qué es el DDAH realmente, cómo se desarrolla, cómo difiere entre las personas y cómo varía a lo largo de la vida. El conocimiento del cerebro agrega otra pieza al enigma de la complejidad y, por lo tanto, contribuirá a resolver el enigma; no reemplaza el enigma con el cuadro real.

Aspectos dinámicos de variables psicológicas

En nuestro análisis de la cuarta característica de los sistemas dinámicos complejos, la naturaleza multicapa y multiescala

de dichos sistemas, hemos visto que lo que medimos como variable, es decir, el nivel de desarrollo de un niño en una tarea de razonamiento cognitivo, de hecho es el resultado del interjuego dinámico entre las capacidades de la persona y lo que permite el contexto (véanse Thelen y Smith, 1994; Fischer y cols., 1993; Van Geert, 2002; Clark, 1997; Fischer, este libro). Aunque es estadísticamente posible separar los aspectos del contexto y de la persona, dicha separación requiere la suposición de la independencia de las personas y de los contextos. Esta suposición es insostenible con una interpretación dinámica del desempeño. En una escala temporal breve, lo que permiten el contexto y las capacidades de la persona son el resultado de la interacción en tiempo real entre ambos y son, por lo tanto, inherentemente dependientes uno de otro. En una escala temporal más prolongada, las personas tienden a elegir y a manipular activamente los contextos en los que funcionan, mientras que los contextos, a su vez, contribuyen a moldear las características y las habilidades de las personas. Dados los rasgos internos característicos de una persona y también dado el rango de los contextos característicos de la persona (que son diferentes para un niño y para un adulto, por ejemplo), los puntajes de la persona en la variable en cuestión mostrarán una dinámica característica. Es esta dinámica característica la que debería ser el objetivo de medición psicológica. A fin de capturar las propiedades de dicha dinámica, la medición debe cumplir con los requisitos que se enumeran a continuación.

En primer lugar, la medición debe repetirse con tal frecuencia (intervalos entre mediciones) que pueda observarse la variabilidad característica de una persona, es decir, el rango característico dentro del cual varían los puntajes de dicha persona. Este rango es el producto de la variación del contexto característico de la persona, pero también de la variabilidad inherente de las condiciones internas (véanse, por ejemplo, De Weerth, Van Geert y Hoijsink, 1999; De Weerth y Van Geert, 2002a, 2002b; Li y cols., 2001, 2004; Granic y cols., 2003; Eizenman y cols., 2004; Schmitz y Skinner, 1993; Kernis y cols., 1993; Butler y cols., 1994; Rabbitt y cols., 2001; Alibali, 1999; Bassano y Van Geert, 2007). La investigación sobre las discontinuidades del desarrollo —por ejemplo, la aparición repentina de un nuevo principio cognitivo, tal como la conservación— también se ha centrado claramente en el significado de la creciente variabilidad como predictor de la futura discontinuidad

(Van der Maas y Molenaar, 1992; Van der Maas, 1993; Hosenfeld, Van der Maas y Van den Boom, 1997; Jansen y Van der Maas, 2002; Wimmers, 1996).

En segundo lugar, la variable medida se distribuye a través de la persona y de los contextos característicos de la persona (propiedad que hemos analizado en la sección sobre la naturaleza multicapa de los sistemas complejos). La naturaleza distribuida, con frecuencia, coincide con el hecho de que la persona funcione en modos característicos. Por lo tanto, la medición implica que los modos característicos de operación se exploran en la forma de múltiples pruebas en diversos contextos (característicos). Ejemplos de ello son el modo funcional y óptimo que es consecuencia de la prueba de Fischer, con apoyo o cooperación o sin ellos, y otros más competentes son uno de los contextos característicos de la operación cognitiva, en especial, en los contextos del desarrollo y la educación (Fischer y cols., 1993; Fischer, este libro). Otros ejemplos se relacionan con estados cercanos a un cambio discontinuo, por ejemplo, entre tipos diferentes de producción del lenguaje (Bassano y Van Geert, 2007), desde la comprensión de la no conservación hasta la conservación en el sentido de Piaget (Van der Maas y Molenaar, 1992) o cuando las etapas discontinuas son representadas por medio de modos de operación diferenciables (por ejemplo, modos verbales y no verbales, véase Goldin-Meadow y cols., 1993). El cerebro de una persona que (al final, en forma temporaria) opera en estos dos modos diferenciables muestra un ejemplo de superposición. Es un cerebro que se presenta tanto en un nivel de desarrollo A como en un nivel de desarrollo B, por ejemplo. Esta superposición no llega a ser una paradoja lógica. Es posible porque el cerebro en cuestión funciona en un sistema complejo y es, en sí mismo, un sistema complejo.

Aspectos de la complejidad en la construcción de la teoría del desarrollo y verificación de hipótesis: Un estudio de caso

¿Cuáles son las consecuencias de los rasgos de complejidad para la manera en la que llevamos a cabo la investigación sobre los procesos de desarrollo? ¿Cómo podemos capturar aspectos tales como la no linealidad y la autoorganización, la superposición y la naturaleza multicapa de la causalidad? ¿Podemos compren-

der el curso de los procesos si, de hecho, no seguimos esos procesos en tiempo real? Pareciera que la adopción de un enfoque de la complejidad y de los sistemas dinámicos requiere una metodología del desarrollo completamente nueva. ¿Ella significa que nuestros métodos actuales no son adecuados para comprender los aspectos dinámicos y de complejidad del desarrollo? En esta sección, sostendremos que la metodología estándar y los diseños estándar de la psicología del desarrollo nos permiten capturar, al menos, una parte significativa de la naturaleza compleja y dinámica si estamos preparados para adoptar una mirada levemente diferente de nuestros datos. A fin de ilustrar cómo puede hacerse, presentamos un ejemplo de uno de nuestros propios proyectos de investigación.

La relación entre las propiedades de la interacción y el estado sociométrico

Ya a la edad de seis o siete años, los niños muestran preferencias específicas por sus compañeros de clase. Mediante técnicas sociométricas, es posible dividir a los niños de la misma aula de la escuela en diversos estatus sociométricos, por ejemplo, populares, promedio y rechazados. Una investigación anterior demostró que, en la interacción social con pares, los niños populares exhiben una mayor cantidad de expresiones emocionales positivas y son más directos para con sus pares que los niños de otros estatus (Black y Logan, 1995; Rubin y cols., 1998). En un proyecto de investigación longitudinal de la Universidad de Utrecht, los niños de estatus popular y los rechazados fueron juntados con un niño de estatus promedio y luego se los filmó durante una sesión de juego simbólico con diversos grupos de juguetes, que llevó unos diez minutos. Los resultados no confirmaron los hallazgos anteriores de una asociación lineal positiva entre el estatus y la expresión emocional positiva (De Koeijer, 2001). El problema es, sin embargo, que el hallazgo de una asociación entre variables en una muestra o población —y finalmente la incapacidad de replicar dichos hallazgos— no nos dice nada acerca del proceso causal que relaciona las características de los estatus sociométricos en niños con su expresión real de emociones y de interacciones positivas con otros niños.

Modelo dinámico de expresión y de interacción emocionales

Propiedades generales del modelo

En nuestro propio estudio, comenzamos a partir de un modelo dinámico de expresión emocional y de direccionamiento específico (*directedness*) en la interacción social (el direccionamiento específico es toda actividad dirigida hacia otra persona; si tiene respuesta de la otra persona, la denominamos coherencia; Steenbeek y Van Geert, 2005; Steenbeek y Van Geert, 2007a, b). El modelo de interacción social se basa en un modelo general, en extremo simplificado, de acción humana, y se inspira en gran medida en la teoría funcional de las emociones, introducida, entre otros, por Frijda (1986), y Campos y cols. (1994). Especulamos con que la acción —y el comportamiento en general— se basa en dos componentes. Un componente se refiere a las inquietudes de la persona, es decir, a los «intereses» que dicha persona intenta concretar. El otro componente, que denominamos reciprocidad, se refiere a la naturaleza inherentemente adaptativa del intercambio social, que significa que los individuos tenderán a reflejar el comportamiento del otro. Si se aplica a una situación de juego que involucre a dos niños, las inquietudes se reducen a dos básicas. Una es un interés en la participación (acciones como jugar juntos, incluidas todas las acciones dirigidas hacia la otra persona con la intención de tratar de involucrar a esa persona en la interacción). La otra es un interés en la autonomía (acciones como jugar solo, sin un intercambio con el otro). Las emociones son evaluaciones del grado en el que las inquietudes se concretan, es decir, se satisfacen. Por ejemplo, una expresión emocional positiva comunicada al compañero de juego indica al niño mismo y a su compañero de juego que la situación actual satisface la inquietud de participación del niño (véase la Figura 5.2 para una representación gráfica del modelo).

Una sesión de juego, como cualquier otra forma de interacción social, es una estructura de acciones iterativas. Es decir, una acción (como dirigirse verbalmente a otra persona) es respondida, de un modo u otro, por la otra persona, y esta respuesta del otro es nuevamente seguida de una acción de la primera persona, y así sucesivamente (véase la Figura 5.2, abajo). Este aspecto iterativo o recursivo es una parte explícita del modelo. Implica, entre otras cosas, que las personas que interactúan constituyen el contexto de

interacción mutuo. Además, es un contexto que está en parte creado por el niño mismo y en parte por el compañero de juego. En este sentido, el contexto no es un marco agregado, estático, que puede concebirse como una variable «independiente» que puede cambiar libremente según los individuos. Las reglas de las acciones y las respuestas en un contexto particular están definidas por el aspecto de la inquietud y por el aspecto de la reciprocidad.

El estado sociométrico es incorporado en el modelo de la siguiente manera: en primer lugar, asumimos que la inquietud del niño por la participación es mayor si el compañero de juego tiene un estatus sociométrico más alto. En segundo lugar, la bibliografía sugiere que los niños populares son más efectivos en el ámbito social que sus pares no populares: tienen mayor impacto en el comportamiento de sus pares y pueden discriminar mejor entre situaciones en las que la acción es efectiva y las situaciones en la que no lo es (la eficacia se define en función de la concreción de sus inquietudes).

Este modelo conceptual básico ha sido transformado en dos tipos de modelos dinámicos. El primero es un modelo denominado agente, que modela el proceso de interacción de una forma más detallada (véanse Steenbeek y Van Geert, 2005, 2007a, b). El segundo es una formulación matemática sumamente simplificada de los principios de interacción antes mencionados, capturados en la forma de un par de ecuaciones diferenciales acopladas. Este modelo se utilizó para calcular las predicciones respecto del direccionamiento específico y las expresiones emocionales en niños de estatus sociométrico popular y rechazado que jugaban con un par de estatus promedio. Las predicciones no concernían al curso real del proceso de interacción, sino que se referían solo a las medidas globales, como las cantidades promedio y las intensidades de las expresiones a lo largo de todo el curso de interacción. Antes de analizar estas predicciones y su prueba empírica, primero abordaremos la cuestión de cómo el procedimiento actual de comenzar a partir de un modelo dinámico es coherente con el enfoque de complejidad analizado en este capítulo.

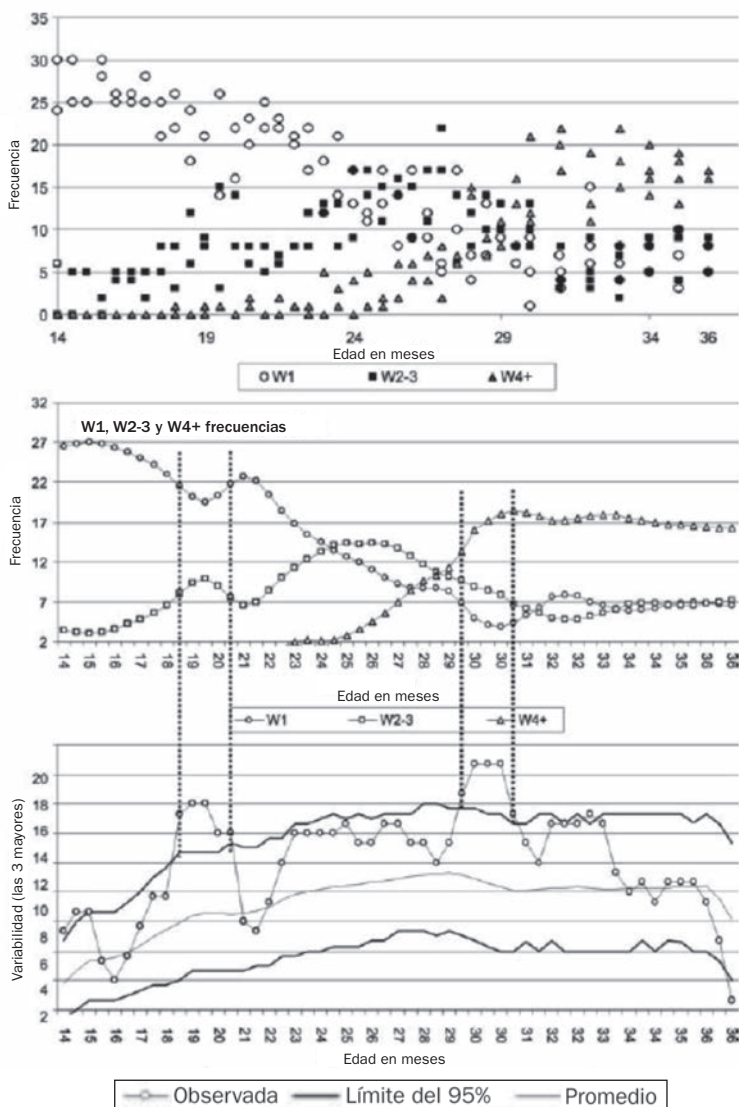


Figura 5.1 Cambios en la frecuencia de emisiones de 1 palabra, 2-3 palabras, y 4 y más palabras en una niña de habla francesa entre las edades de 14 y 36 meses. Los grupos de emisiones se refieren a supuestos generadores subyacentes: holofrásticos, combinatorios y sintácticos.

Parte superior: Datos sin procesar, basados en subsesiones que cuentan 30 emisiones cada una. Una sesión de observación completa consistió en 60 (antes del mes 22) o en 120 emisiones (después del mes 22), y se subdividió en subsesiones de 30 emisiones a fin de estudiar la variabilidad dentro de la sesión.

Parte media: Curvas suaves de frecuencia, basadas en la curva de Loess, que estima los valores centrales (cambiantes) de tres tipos de emisiones y sigue las regresiones locales u otras desviaciones de una tendencia principal.

Parte inferior: Variabilidad dentro de la sesión, definida como el promedio de tres valores máximos de variabilidad dentro de la sesión durante un período de cinco comparaciones consecutivas. La variabilidad alcanza su punto máximo alrededor del mes 19, simultáneamente con una regresión temporaria en las emisiones de 1 palabra y un punto máximo temporario en las oraciones de 2 y 3 palabras. Un segundo punto máximo tiene lugar alrededor del mes 30, que es el momento de la consolidación de las emisiones de 4 o más palabras. Es probable que las emisiones de 1 y 2-3 palabras que tengan lugar después del mes 30 sean generadas cada vez más por el nuevo generador sintáctico. Los puntos máximos de variabilidad observados se comparan con un rango de variabilidad, estimado sobre la base de un modelo multinomial: dado que las frecuencias suaves de los tres tipos de expresión pueden concebirse como funciones de probabilidad multinomial, la variabilidad estadísticamente esperada puede computarse, por ejemplo, como banda del 95%. Los puntos máximos en la variabilidad difieren significativamente de los puntos máximos estadísticamente esperados ($p < 0,01$).

Aspectos de complejidad en el modelo de interacción dinámica simple

En vez de usar un modelo de asociaciones lineales entre variables en sujetos independientes, utilizamos un modelo dinámico que especifica las propiedades de interacción como resultado de un proceso en tiempo real. El modelo dinámico es utilizado para especificar predicciones acerca de propiedades globales promedio de sesiones de interacción y, por tanto, puede ser probado por medio de un diseño transeccional estándar, basado en casos independientes

(las díadas). El modelo también especifica el caso más simple posible de autoorganización: para cada grupo de valores de parámetros, se estabiliza en un valor fijo. Por lo tanto, el grado de direccionamiento específico y de emociones positivas de los niños hacia los otros no se concibe como el producto de cierta tendencia interna y relativamente estática de un niño hacia emociones positivas. Está modelado como el resultado de un proceso de interacción dinámica y, por consiguiente, incorpora aspectos del sujeto y del contexto. En este sentido, los niveles de emoción y de direccionamiento específico son el resultado de un proceso distribuido, es decir, un proceso distribuido entre los participantes de la interacción.

La propiedad de la superposición, característica de los sistemas complejos, claramente presenta la manera en la que las nociones del contexto y el sujeto se definen. En vista de la naturaleza iterativa de la interacción, el contexto, es decir las acciones y las propiedades del compañero de juego, es, a la vez, un producto de la acción del propio niño y una causa de dichas acciones. De modo similar, las propiedades del niño están determinadas en gran medida por el contexto (por ejemplo, las inquietudes del niño). Entonces, aunque el contexto y el sujeto puedan separarse en cualquier momento, el sujeto es el creador del contexto, y el contexto es el creador del sujeto. Esta forma de superposición no es vaga ni metafórica: está definida por completo por las ecuaciones especificadas en el modelo.

El aspecto de la sustancia y del proceso asume la forma de una elección explícita entre aquellas partes del modelo que se conciben como propiedades internas «fijas», por ejemplo, la eficacia social del niño y aquellas partes que son el resultado de los procesos que el modelo describe (las inquietudes, las emociones, etc.). La elección de una «sustancia» o aspecto fijo (una propiedad de la persona, por ejemplo) no involucra un reclamo generalizable acerca de la naturaleza del aspecto fijo como «fijo». En un modelo que intenta explicar este aspecto, por ejemplo, la eficacia social, es probable que el aspecto fijo asuma la forma de un proceso.

No obstante, el modelo actual aún presenta carencias en un aspecto final de sistemas dinámicos complejos, es decir, la naturaleza multicapa y multiescala de los procesos. El modelo especifica la dinámica a corto plazo de la interacción social, que se corresponde con una sesión de juego de diez minutos, por ejemplo. Debería complementarse con un modelo de la dinámica a largo plazo de la

interacción social, explicando cómo y por qué los parámetros distinguidos en el modelo cambian en el transcurso del desarrollo, en parte como una consecuencia de la interacción social misma (para un ejemplo, véase Steenbeek y Van Geert, 2007b).

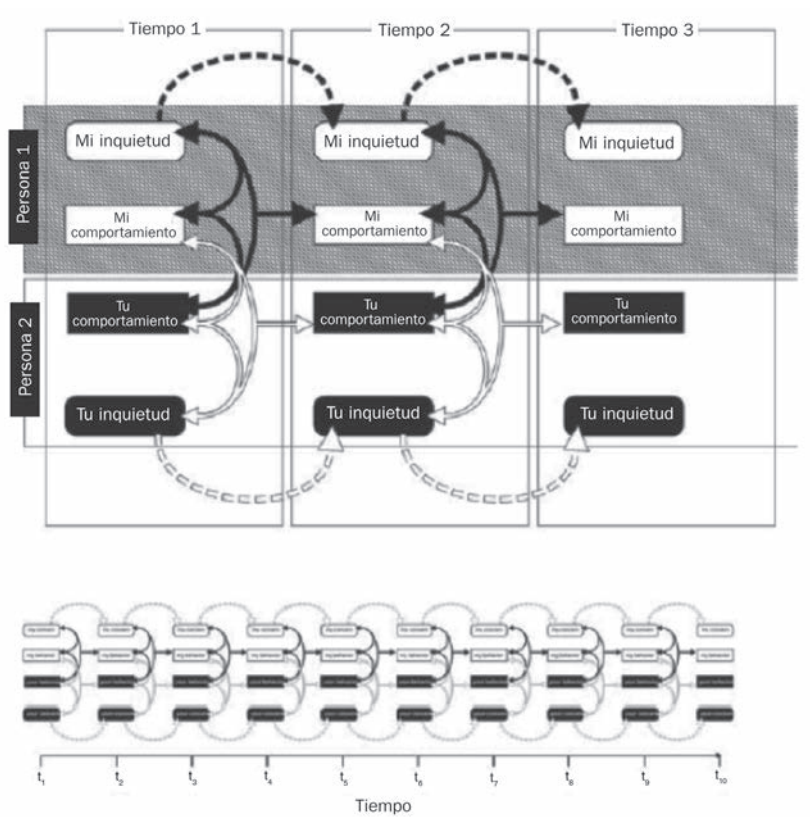


Figura 5.2 Modelo básico de cambio conductual a corto plazo en una situación de interacción social. Ambas personas (por ejemplo, dos niños) tienen una inquietud respecto de hacer cosas juntos o solos (jugar juntos o jugar solos). Matemáticamente, la inquietud adopta la forma de un porcentaje preferido de jugar juntos respecto de jugar solos. El siguiente nivel en la conducta de una persona (por ejemplo, en el tiempo 2) se basa en una evaluación de la diferencia entre el propio comportamiento de la persona (ya sea jugando juntos o jugando solo), el comportamiento de la otra persona y la inquietud de la persona. El modelo es simétrico para ambas personas. En este modelo simplificado, las inquietudes no se adaptan en el corto

plazo (las flechas punteadas representan el hecho de que las inquietudes continúan siendo las mismas a lo largo del tiempo). Si bien la figura superior representa solo tres etapas temporales, la figura inferior proporciona una mejor idea del carácter iterativo del proceso.

Prueba de las hipótesis de los sistemas dinámicos en un diseño de muestra estándar

Sujetos, procedimiento y predicciones

Alumnos de 1.^{er} grado de una edad promedio de 6,5 años, con un límite superior de 8,8 años y un límite inferior de 5,8 años, participaron en este estudio. De un grupo de 83 niños (47 varones y 36 mujeres), se seleccionaron 24 parejas sobre la base de su estatus sociométrico, determinado mediante una prueba de calificación, Ssrat (Maassen, Akkermans y Van der Linden, 1996). Las parejas fueron filmadas tres veces, a intervalos de aproximadamente un mes y medio. Una interacción consistió en una sesión de juego de diez minutos. Los cambios en la expresividad y la respuesta de cada niño filmado fueron codificados durante cada décima de segundo (muestreo de eventos).

Las predicciones modelo fueron generadas calculando todos los resultados posibles para un espacio de parámetro correspondiente a las propiedades postuladas de los niños rechazados y los populares, en términos de sus inquietudes hipotetizadas y eficacia hipotetizada. Las predicciones que hizo el modelo fueron las siguientes. En su propia diada, el niño popular mostrará menos direccionamiento específico hacia el compañero de juego que el niño rechazado y también exhibirá expresiones emocionales menos positivas. En el niño popular, las emociones positivas se distribuirán más efectivamente; el niño popular también exhibirá emociones más negativas que el niño rechazado. Independientemente de las diferencias entre las diadas, esperamos una mayor similitud entre el niño y su compañero de juego de lo que podría esperarse sobre la base del azar. El modelo predijo que la participación del compañero de juego de un niño popular no diferiría de la participación del compañero de juego de un niño rechazado. El compañero de juego del niño rechazado mostrará expresiones más negativas que el compañero de juego del niño popular. Por último, el modelo predice una participación menos compartida en la diada promedio popular que

en la díada promedio rechazada. No se esperan diferencias entre las díadas populares y las díadas rechazadas en la cantidad de expresiones negativas compartidas. Hay que advertir que estas predicciones, fundamentadas en un modelo dinámico de interacción en tiempo real, son crucialmente diferentes de la predicción hecha sobre la base de la investigación previa (que halló una asociación positiva entre la popularidad, las emociones positivas y el direccionamiento específico).

El hecho de que la cantidad de niños populares y rechazados sea pequeña y de que, además, el procedimiento de puntuación sea arduo, tuvo como resultado pequeñas muestras de díadas de promedio-rechazado, promedio-promedio y promedio-popular (13, 14 y 14, respectivamente). Por esta razón y también porque no tenemos idea acerca de la distribución esperada de las variables en el nivel poblacional, aplicamos una prueba no paramétrica de permutación al azar (véanse Manly, 1997; Good, 1999; Todman y Dugard, 2001) para cada variable operativa. Una ventaja principal de este procedimiento estadístico es que puede ponerse a prueba casi toda predicción, siempre que la hipótesis nula esté claramente formulada y la prueba pueda tomar la forma de una simulación estadística.

Finalmente, aquello que es característico de un grupo, por ejemplo, de niños rechazados, no es necesariamente algo que ocurra en todos los miembros del grupo y ni siquiera en la mayoría de los miembros del grupo. Por lo tanto, es probable que ocurran diferencias entre grupos en los extremos y no necesariamente en los promedios, o que las diferencias en los promedios se deban, de hecho, a diferencias en los extremos. Por esta razón, no solo examinamos las diferencias en términos de promedios de grupos, sino que también inspeccionamos las propiedades de los extremos (de hecho, el 20% superior o inferior del grupo).

Resultados y análisis

En síntesis, nuestros datos confirmaron casi todas nuestras predicciones. En particular, los niños rechazados se inclinan a exhibir un *exceso* de expresiones positivas, en el sentido de que muestran muchas expresiones positivas que no son reflejadas por las reacciones del compañero de juego. Es probable que este exceso sea una consecuencia de su gran inquietud hipotetizada para la participa-

ción, en este contexto particular de jugar con un niño de un estatus superior. El exceso también es un indicador de su relativa falta de eficacia, en el sentido de que mucho de su esfuerzo no es compartido.

Las expresiones positivas exhibidas por los niños populares, que, según se predijo, fueron menos frecuentes que con los niños rechazados, más a menudo están acompañadas de una expresión positiva del compañero de juego. Esta asociación sugiere que los niños populares son más efectivos que los niños rechazados al establecer un marco intersubjetivo. Además, los niños populares son eficaces en su interacción, en el sentido de que invierten menos esfuerzo y, sin embargo, generan altos niveles de esfuerzo en el compañero de juego. Este esfuerzo es demostrado por los muchos turnos verbales y no verbales iniciales del compañero de juego. Las diferencias que hallamos entre los compañeros de juego de estatus promedio, ya fuera que estuvieran jugando con un niño rechazado o con uno popular, no fueron estadísticamente significativas (y esta ausencia de diferencia se había predicho). Hubo una excepción, concretamente, si un compañero de juego de un niño rechazado expresaba una emoción negativa, esta emoción era más intensa.

Además, aparte de examinar las diferencias entre grupos de estatus, también observamos las diferencias entre el niño y el compañero de juego de cada diada por separado. En ambos tipos de diadas, aparece un proceso de ajuste, es decir, el niño y el compañero de juego desarrollan un nivel característico de concordancia. Esta concordancia está demostrada, entre otras cosas, por el hecho de que el compañero de juego de la pareja rechazada es notablemente positivo, tanto en cuanto al direccionamiento específico como a las expresiones positivas.

El análisis visual de los datos sugiere que, en la mayoría de las variables, la parte inferior de las distribuciones de los grupos de estatus es similar, mientras que las diferencias aparecen en la parte superior, incluidos los extremos, de la distribución.

En algunas variables, hallamos diferencias en los extremos que no se encontraron en los análisis de los promedios.

Aspectos de complejidad

Nuestros datos ilustran el hecho de que el comportamiento no debe tratarse como una propiedad fija de una persona, sino como el

resultado de la acción adaptativa en un contexto que es, en parte, el producto de la acción misma de la persona. Los datos también ilustran la no linealidad en el hecho de que la asociación entre una propiedad y un estado sociométrico no está distribuida linealmente a través del grupo o la muestra de estatus. Las diferencias, con frecuencia, se deben a un subgrupo característico que representa los patrones «típicos» sobre la base de los que se identifican los grupos o los estatus, pero no necesariamente representan la mayoría en el grupo. Además, los patrones característicos hallados en diadas rechazadas y populares muestran una superposición de propiedades (al parecer) contradictorias: el niño tiene un estatus rechazado, pero, sin embargo, exhibe una interacción de alta intensidad y emociones positivas que son compartidas por el compañero de juego. Por lo tanto, la complejidad de ser popular o rechazado en un grupo se relaciona con las diversas formas en las que puede ocurrir la interacción entre los niños y el hecho de que esa acción es funcional, es decir, orientada hacia la materialización de las inquietudes.

Por último, el hecho de que nuestros hallazgos hayan respaldado nuestras predicciones con tanta firmeza otorga más credibilidad al modelo de sistemas dinámicos de los cuales se infirieron las predicciones.

Conclusión: La simplificación de la realidad del desarrollo debe preservar su complejidad

En este capítulo, analizamos cuatro rasgos esenciales de los sistemas dinámicos complejos que se aplican directamente al desarrollo humano. El desarrollo humano no puede comprenderse de modo adecuado si estos rasgos no son tenidos en cuenta. Desafortunadamente, en su búsqueda por una reducción y una simplificación necesarias del objeto de estudio, gran parte de la metodología actual descarta esas propiedades y, al hacerlo, crea una imagen inadecuada de los aspectos fundamentales del desarrollo humano. En nuestro análisis de la medición psicológica, hemos intentado mostrar que los rasgos como la ambigüedad, la confusión, la variabilidad y la especificidad del contexto deben colocarse en el centro del proceso de medición, en vez de quedar abandonados como meros errores de la medición. En un ejemplo de un estudio sobre la relación entre el estado sociométrico, la expresión emocional y el

direccionamiento específico en la interacción social, hemos intentado demostrar que con relativamente pocas alteraciones, un diseño de investigación estándar puede proporcionar conocimientos interesantes acerca de la complejidad y la dinámica del comportamiento de niños jóvenes.

Referencias

- Alibali, M. (1999). «How children change their minds: strategy change can be gradual or abrupt», *Developmental Psychology*, 35(1), 127-145.
- Bassano, D. y Van Geert, P. (2007). «Modeling continuity and discontinuity in utterance length: a quantitative approach to changes, transitions and intraindividual variability in early grammatical development», *Developmental Science*, 10(5), 588-612.
- Beaulieu, A. (2000). *The space inside the skull: digital representations, brain mapping and cognitive neuroscience in the decade of the brain*, Groningen, tesis doctoral.
- Black, B. y Logan, A. (1995). «Links between communication of mother-child, father-child, and child-child peer interactions and children's social status», *Child Development*, 66, 255-271.
- Butler, A., Hokanson, J. y Flynn, H. A. (1994). «A comparison of self-esteem lability and low trait self-esteem as vulnerability factors for depression», *Journal of Personality and Social Psychology*, 66, 166-177.
- Campos, J. J., Mumme, D. L., Kermoian, R. y Campos, R. G. (1994). «A functionalist perspective on the nature of emotion», *Monographs of the Society for the Study of Child Development*, 59(2-3), 284-303.
- Clark, A. (1997). *Being There: Putting Brain, Body and World Together Again*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- De Koeijer, I. (2001). *Peer Acceptance, Parent-child Fantasy Play Interactions, and Subjective Experience of the Self-in-relation; A Study of 4- to 5-year-old Children*, Veenendaal, Universal Press.
- De Weerth, C. y Van Geert, P. (2002a). «Changing patterns of infant behavior and mother-infant interaction: Intra- and interindividual variability», *Infant Behavior and Development*, 24(4), 347-371.

- De Weerth, C. y Van Geert, P. (2002b). «A longitudinal study of basal cortisol in infants: intra-individual variability, circadian rhythm and developmental trends», *Infant Behavior and Development*, 25, 340-374.
- De Weerth, C., Van Geert, P. y Hoijtink, H. (1999). «Intraindividual variability in infant behavior», *Developmental Psychology*, 35(4), 1102-1112.
- Eizenman, D. R., Nesselroade, J. R., Featherman, D. L. y Rowe, J. W. (2004). «Intra-individual variability in perceived control in an older sample: the MacArthur Successful Aging Studies», *Psychology and Aging*, 12, 489-502.
- Fischer, K. W. y Bidell, T. H. (2006). «Dynamic development of action, thought and emotion», en R. M. Lerner y W. Damon (comps.), *Handbook of Child Psychology*, Vol 1, *Theoretical Models of Human Development* (6.^{ta} ed., págs. 313-399), Nueva York, Wiley.
- Fischer, K. W., Bullock, D. H., Rotenberg, E. J. y Raya, P. (1993). «The dynamics of competence: how context contributes directly to skill», en R. H. Wozniak y K. W. Fischer (comps.), *Development in Context: Acting and Thinking in Specific Environments*, Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum, págs. 93-117.
- Ford, D. y Lerner, R. (1992). *Developmental Systems Theory: An Integrative Approach*, Londres, Sage.
- Frijda, N. H. (1986). *The Emotions: Studies in Emotion and Social Interaction*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Goldin-Meadow, S., Alibali, M. W. y Breckinridge Church, R. (1993). «Transitions in concept acquisition: Using the hand to read the mind», *Psychological Review*, 100(2), 279-297.
- Good, P. I. (1999). *Resampling Methods: A Practical Guide to Data Analysis*, Boston, Birkhauser.
- Gottlieb, G., Wahlsten, D. y Lickliter, R. (1998). «The significance of biology for human development: a developmental psychobiological systems view», en R. M. Lerner y W. Damon (comps.), *Handbook of Child Psychology* (págs. 233-273), Nueva York, Wiley.
- Granic, I., Hollenstein, T., Dishion, Th. J. y Patterson, G. R. (2003). «Longitudinal analysis of flexibility and reorganization in early adolescence: A dynamic systems study of family interactions», *Developmental Psychology*, 39(3), 606-617.

- Hosenfeld, B., Van der Maas, H., Van den Boom, D. C. (1997). «Indicators of discontinuous change in the development of analogical reasoning», *Journal of Experimental Child Psychology*, 64, 367-395.
- Jansen, B. R. J. y Van der Maas, H. (2002). «The development of children's rule use on the balance scale task», *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 383-416.
- Kernis, M. H., Cornell, D., Sun, C. R., Berry, A. y Harlow, T. (1993). «There's more to self-esteem than whether it is high or low: the importance of stability of self-esteem», *Journal of Personality and Social Psychology*, 65, 1190-1204.
- Li, S. C., Aggen, S. H., Nesselroade, J. R. y Baltes, P. B. (2001). «Short-term fluctuations in elderly people's sensori-motor functioning predict text and spatial memory performance: the MacArthur successful aging studies», *Journal of Gerontology*, 47, 100-116.
- Li, S. C., Lindernberger, U., Hommel, B., Aschersleben, G., Prinz, W. y Baltes, P. B. (2004). «Lifespan transformations in the couplings among intellectual abilities and constituent cognitive processes», *Psychological Science*, 15(3), 155-163.
- Maassen, G. H., Akkermans, W. y van der Linden, J. L. (1996). «Two-dimensional sociometric status determination with rating scales», *Small Group Research*, 27(1), 56-78.
- Manly, B. F. (1997). *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology* (2.^a ed.), Boca Ratón, Chapman and Hall.
- Mazoyer, B. y Tzouriou-Mazoyer, N. (2002). «Variabilité anatomique et fonctionnelle des aires du langage», en J. Lautrey, B. Mazoyer y P. van Geert (comps.), *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives* (págs. 55-68), París, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Molenaar, P. C. M. (2004). «A manifesto on psychology as idiographic science: bringing the person back into scientific psychology, this time forever», *Measurement*, 2(4), 201-219.
- Musher-Eizenman, D. R., Nesselroade, J. R. y Schmitz, B. (2002). «Perceived control and academic performance: a comparison of high- and low-performing children on within-person change-patterns», *International Journal of Behavioral Development*, 26, 540-547.
- Rabbitt, P., Osman, P. y Moore, B. (2001). «There are stable individual differences in performance variability, both from mo-

- ment to moment and from day to day», *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A, 981-1003.
- Rocha L. M. (1997). *Evidence Sets and Contextual Genetic Algorithms: Exploring Uncertainty, Context, and Embodiment in Cognitive and Biological Systems*, Nueva York, tesis doctoral en la Binghamton University.
- Roubertoux P. L. y Carlier, M. (2002). «Invariants et variants génétiques: les apports de la génomique dans l'étude des processus cognitifs», en J. Lautrey, B. Mazoyer y P. van Geert (comps.), *Invariants et variabilités dans les sciences cognitives* (págs. 25-40), París, Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Rubin, K. H., Bukowski, W. M. y Parker, J. G. (1998). «Peer interactions, relationships, and groups», en W. Damon (comp. serie) y N. Eisenberg (comp. vol.), *Handbook of Child Psychology*, Vol. 3, *Social, Emotional, and Personality Development* (5.^a ed., págs 619-700), Nueva York, Wiley.
- Schmitz, B. y Skinner, E. (1993). «Perceived control, effort and academic performance: interindividual, intraindividual in multivariate time-series analyses», *Journal of Personality and Social Psychology*, 64, 1010-1028.
- Steenbeek, H. y Van Geert, P. (2002). «Variations on dynamic variations», *Human Development*, may.-jun., Vol. 45(3), 167-173.
- Steenbeek, H. y Van Geert, P. (2005). «A dynamic systems model of dyadic interaction during play of two children», *European Journal of Developmental Psychology*, 2(2), 105-145.
- Steenbeek, H. y Van Geert, P. (2007a). «A dynamic systems approach to dyadic interaction in children's emotional expression, action, dyadic play, and sociometric status», *Developmental Review*, 27(1), 1-40.
- Steenbeek, H. y Van Geert, P. (2007b). «The empirical validation of a dynamic systems model of interaction: do children of different sociometric status differ in their dyadic play interactions?», *Developmental Science* (en imprenta).
- Thelen, E. y Smith L. B. (1994). *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Todman, J. B. y Dugard, P. (2001). *Single-case and Small-n Experimental Designs: A Practical Guide to Randomization Tests*, Mahwah, Nueva Jersey, Erlbaum.

- Uttal, W. M. (2001). *The New Phrenology: The Limits of Localizing Cognitive Processes in the Brain*, Cambridge, Massachusetts, Cambridge University Press.
- Van der Maas, H. (1993). «*Catastrophe analysis of stagewise cognitive development, model method and applications*», disertación, University of Amsterdam.
- Van der Maas, H. y Molenaar, P. C. M. (1992). «A catastrophe-theoretical approach to cognitive development», *Psychological Review*, 99, 395-417.
- Van Dijk, M. y Van Geert, P. (2005). «Disentangling behavior in early child development: Interpretability of early child language and its effect on utterance length measures», *Infant Behavior and Development*, 28, 99-117.
- Van Geert, P. (1991). «A dynamic systems model of cognitive and language growth», *Psychological Review*, 98, 3-53.
- (1994). *Dynamic Systems of Development*, Nueva York y Londres, Harvester Wheatsheaf.
- (1998). «A dynamic systems model of basic developmental mechanisms: Piaget, Vygotsky and beyond», *Psychological Review*, 105, 5, (4), 634-677.
- (2002). «Developmental dynamics, intentional action and fuzzy sets», en N. Granott y J. Parziale (comps.), *Microdevelopmental Clues: Transition Processes in Development and Learning* (págs. 319-343), Cambridge, Cambridge University Press.
- Van Geert, P. y Van Dijk, M. (2002). «Focus on variability: New tools to study intra-individual variability in developmental data», *Infant Behavior and Development*, 25, 1-35.
- (2003). «Ambiguity in child language. The problem of inter-observer reliability in ambiguous observation data», *First Language*, 23(3), 259-284.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*, Londres, Harvard University Press.
- Wimmers, R. H. (1996). *Grasping Developmental Change: Theory, Methodology and Data*, tesis doctoral, Free University of Amsterdam.

PARTE II

DESARROLLO DEL CEREBRO, LA COGNICIÓN Y LA EDUCACIÓN

6

La epigenénesis y la plasticidad cerebral en la educación

Wolf Singer

Introducción

Algunos resultados bien fundamentados de la neurobiología pueden explicar características de la representación neuronal del conocimiento en los seres humanos. La arquitectura funcional del cerebro depende no solo de los genes, sino de los mecanismos epigenéticos (procesos del desarrollo) basados en la estabilización de las conexiones entre las neuronas para tareas específicas. «Las neuronas que se activan juntas permanecerán conectadas» es la regla básica, no solo en el período embrionario, sino también después del nacimiento. Los bebés están dotados de una increíble riqueza de información que ya está accesible en sus cerebros, como lo ilustran otros capítulos, tales como los escritos por Dehaene y Petitto. La educación no comienza con una pizarra en blanco, sino que se desarrolla a partir de un conocimiento previo acerca del medio interno y el externo. Durante los períodos tempranos de desarrollo, aparecen algunas ventanas de desarrollo, bien documentadas para las áreas visuales de la corteza, donde la privación sensorial puede alterar para siempre la consolidación de los circuitos corticales. Después de la pubertad, todo aprendizaje está limitado por arquitecturas neuronales invariables, pero el aprendizaje continúa debido a modificaciones funcionales en la conectividad del sistema cerebral, tal como lo describió Bruer en su capítulo. Los programas educativos se beneficiarán con el conocimiento de la forma en la que se desarrollan nuevos circuitos neuronales durante el aprendizaje.

Los compiladores

Las consideraciones acerca de la optimización de las estrategias educativas deberían tener en cuenta el conocimiento sobre el desarrollo cerebral y los mecanismos de aprendizaje que se han acumulado gracias a la investigación neurobiológica a lo largo de las décadas pasadas. La vasta cantidad de datos impide una visión abarcadora de aspectos potencialmente pertinentes en el formato de esta presentación. Por lo tanto, se hará hincapié en los aspectos generales de la adquisición y la representación del conocimiento. En este contexto, las siguientes preguntas son de particular importancia: primero, cómo se representa el conocimiento en el cerebro. Segundo, si, al nacer, el cerebro ya posee conocimiento acerca del mundo en el que va a evolucionar o si debe considerarse una *tabula rasa* libremente programable. Tercero, si la experiencia y la educación interfieren con el desarrollo cerebral y de qué forma. Cuarto, hasta qué punto el cerebro en desarrollo tiene control sobre los procesos que median su desarrollo y su adquisición de conocimiento. Quinto, si los procesos de aprendizaje del cerebro en desarrollo difieren de los del organismo maduro y, de ser así, cómo.

La representación neuronal del conocimiento

A diferencia de las computadoras, que consisten en un *hardware* invariable que lleva a cabo operaciones fijas, cuya secuencia puede ser libremente programada por un *software* apropiado, no existe una dicotomía entre el *hardware* y el *software* del cerebro. La forma en la que el cerebro opera está por completo determinada por las propiedades integradoras de las células nerviosas individuales y el modo en el que están interconectadas. La arquitectura funcional, el patrón de las conexiones y su respectivo peso son lo que determina cómo el cerebro percibe, decide y actúa. Por lo tanto, no solo las reglas según las cuales el cerebro procesa la información, sino también todo el conocimiento que posee un cerebro, residen en su arquitectura funcional. De ello se desprende que los patrones de conectividad del cerebro contienen información y que todo aprendizaje, es decir, la modificación de los programas de computación y del conocimiento almacenado, deben ocurrir a través de cambios duraderos en su arquitectura funcional. Dichos cambios pueden obtenerse alterando las propiedades integradoras de las neuronas individuales cambiando los patrones de conectividad

anatómica y modificando la eficacia de las conexiones excitatorias e inhibitorias. Por consiguiente, la búsqueda de las fuentes de conocimiento es equivalente a la búsqueda de procesos que especifiquen y modifiquen la arquitectura funcional del cerebro.

Pueden distinguirse tres procesos principales: evolución, desarrollo ontogenético y aprendizaje. Si bien estos procesos difieren en forma notable en su ciclo temporal y en los mecanismos subyacentes, son igualmente responsables de la especificación de la arquitectura funcional del cerebro. Por ello, pueden considerarse mecanismos que subyacen bajo la adquisición de conocimiento o, en términos más generales, procesos cognitivos.

La evolución como proceso cognitivo

La arquitectura del cerebro ha evolucionado de acuerdo con los mismos principios de prueba, error y selección, como todos los demás componentes del organismo. Los organismos dotados de cerebro, cuya arquitectura permitió la realización de funciones que aumentaron su aptitud, sobrevivieron, y se preservaron los genes que especifican esta arquitectura. A través de este proceso de selección, se implementó la información acerca de operaciones computacionales útiles en la arquitectura del cerebro y se almacenó en los genes. Cada vez que un organismo se desarrolla, esta información es transmitida desde los genes, a través de un complicado proceso de desarrollo, hasta arquitecturas cerebrales específicas que, luego, traducen este conocimiento a un comportamiento bien adaptado.

Debido a que la evolución es conservadora, las características básicas de la arquitectura funcional del sistema nervioso se preservaron una vez que demostraron su eficacia. Por lo tanto, las propiedades integradoras de las células nerviosas y los principios más importantes del procesamiento de la información se han mantenido inmutables desde la primera aparición de sistemas nerviosos simples en invertebrados. Ello implica que las estrategias computacionales, como por ejemplo el mecanismo de aprendizaje que asocia señales temporalmente contingentes, se han mantenido casi inmutables a través de la evolución. Seguimos utilizando el conocimiento que los organismos primitivos adquirieron acerca de algoritmos computacionales que demostraron ser útiles para la evaluación de señales sensoriales y la preparación de respuestas bien

adaptadas. El único cambio mayor que sufrió el sistema nervioso durante la evolución es un aumento drástico en la complejidad. Esta complejidad se debe a un incremento masivo del número de células nerviosas y, aún más, a un sorprendente aumento de conexiones. El cerebro humano consta de 10^{11} células nerviosas y de 10^{14} conexiones. Un milímetro cúbico de corteza cerebral contiene aproximadamente 60 000 neuronas. Cada una de ellas se contacta con otras 10 000 y 20 000 neuronas, y recibe impulsos de un número comparable de células nerviosas. La mayoría de las interacciones mediadas por estas conexiones ocurren entre las células nerviosas localizadas unas cerca de otras, pero también hay numerosas conexiones de largo alcance que unen las células nerviosas que están distribuidas a través de áreas remotas del cerebro. La mayoría de estas conexiones son altamente selectivas, y sus trayectorias están genéticamente especificadas.

En consecuencia, una gran cantidad de información es almacenada en la arquitectura funcional de cerebros altamente evolucionados, y una de las fuentes de esta información es la selección evolutiva. En este contexto, es importante el hecho de que la mayoría de las características genéticamente determinadas de la arquitectura del cerebro ya se expresan en el momento del nacimiento. Ello implica que los bebés nacen con cerebros que han almacenado en su arquitectura una cantidad sustancial de conocimiento acerca de estrategias útiles de procesamiento de la información. Mientras que la especialización funcional de los órganos de los sentidos determina qué señales del medio han de ser capturadas por el organismo para una mayor evaluación, la arquitectura funcional del sistema nervioso determina cómo estas señales han de ser procesadas, recombinadas, almacenadas y traducidas a patrones de acción. El conocimiento innato define cómo percibimos e interpretamos las señales sensoriales, evaluamos las regularidades y obtenemos las reglas, asociamos las señales entre sí e identificamos relaciones causales, atribuimos connotaciones emocionales a señales sensoriales y, finalmente, cómo razonamos. Los bebés humanos nacen con una inmensa base de conocimiento acerca de las propiedades del mundo en el que van a evolucionar, y este conocimiento reside en la arquitectura funcional genéticamente determinada de sus cerebros (véase Koizumi, Dehaene y Singer, este libro). Por lo tanto, sus cerebros están lejos de ser una *tabula rasa* libremente instruable.

Por obvias razones, no tenemos un recuerdo consciente de la adquisición de este conocimiento. Está *a priori* en la naturaleza y determina las operaciones básicas de nuestro cerebro, incluida la subsiguiente adquisición de mayor conocimiento mediante el aprendizaje. El conocimiento implícito especifica cómo percibimos el mundo y categorizamos los fenómenos como parecidos o diferentes. No podemos cuestionar este conocimiento y tampoco podemos ignorar, mediante deliberaciones conscientes, los resultados computacionales proporcionados por nuestra arquitectura cerebral innata. Aunque sabemos que las vibraciones con frecuencias por arriba y por debajo de 18 Hz difieren solo cuantitativamente en términos físicos, nuestro sistema sensorial subdivide, de modo arbitrario, este continuo en vibraciones y sonidos, respectivamente. Son numerosos los ejemplos de dicha formación arbitraria de categorías de acuerdo con inferencias previas establecidas por la arquitectura de nuestro sistema nervioso. Estos preconceptos innatos también pueden ser más sutiles y, entonces, son menos fáciles de identificar como tales. Aparecen como convicciones no cuestionables acerca de la naturaleza del mundo en el que evolucionamos. La investigación actual sobre primates y bebés apunta a revelar esta base de conocimiento innato. Debido a que este conocimiento previo brinda el marco para todos los subsiguientes procesos de aprendizaje, hay que tenerlo en cuenta en cualquier intento por mejorar las tareas educativas tempranas.

El desarrollo dependiente de la experiencia

A pesar de la determinación sustancial de la arquitectura del cerebro por factores genéticos, los bebés humanos nacen con cerebros en extremo inmaduros que siguen desarrollándose estructuralmente hasta el fin de la pubertad. En el momento del nacimiento, ya existen todas las neuronas, y están formadas las conexiones básicas, en especial aquellas que unen distancias largas. Sin embargo, la mayoría de las neuronas de la corteza cerebral aún no están conectadas por completo. Solo después del nacimiento y durante los siguientes años, la arquitectura funcional del cerebro alcanza su complejidad final. Este proceso de desarrollo se caracteriza por una continua renovación de conexiones. Las células nerviosas extienden los procesos que reciben contactos de otras células nerviosas

(sus dendritas) y los procesos con los que distribuyen su actividad a otras células nerviosas (axones) y establecen contactos. Una vez formadas, estas conexiones están sujetas a una prueba funcional y luego quedan consolidadas por el resto de la vida o son suprimidas en forma irreversible. Este proceso de validación es controlado por la actividad neuronal. Las conexiones entre las neuronas que tienen una alta probabilidad de exhibir una actividad correlacionada temporalmente tienden a consolidarse, mientras que las conexiones entre las neuronas que tienen una menor probabilidad de ser activadas en forma correlacionada tienden a ser suprimidas. «Las neuronas permanecerán conectadas si se activan juntas». Después del nacimiento, la actividad de las redes neuronales, por supuesto, está influida, en gran medida, por las señales sensoriales ahora disponibles. Ello implica que la experiencia sensorial tiene acceso a un proceso de desarrollo que conduce a la especificación de las arquitecturas funcionales. A través de este proceso, la experiencia puede moldear la conectividad neuronal (para una revisión de la bibliografía sobre experiencia-desarrollo, véase Singer, 1990; 1995).

Lo que hace que este proceso sea tan importante en el contexto de las consideraciones acerca de las estrategias educativas es su irreversibilidad. Como ya se mencionó, este proceso de formación y de selección de circuitos según los criterios funcionales persiste hasta el fin de la pubertad, pero ocurre dentro de ventanas de tiempo precisas que difieren según las distintas estructuras. Para las áreas de la corteza cerebral que llevan a cabo el procesamiento de bajo nivel de las señales sensoriales, tales como las áreas sensoriales primarias, esta maduración de los conjuntos de circuitos dependiente de la experiencia comienza poco después del nacimiento y llega a su fin dentro de los primeros dos años de vida. Para las áreas que están dedicadas al procesamiento del lenguaje, la ventana de desarrollo comienza más tarde y también está abierta durante un período de tiempo más extenso. Y aún más tarde están las ventanas de desarrollo para la maduración de los centros que se ocupan del manejo de la memoria declarativa, la representación del *self* y la incorporación del individuo en los sistemas sociales.

Una vez que se cierran las respectivas ventanas de desarrollo, las neuronas dejan de formar nuevas conexiones, y las conexiones existentes ya no pueden suprimirse. Por ello, las ventanas durante las cuales la maduración cerebral es susceptible a influencias dependientes de la experiencia se denominan «períodos críticos»

(véase Bruer para un análisis sobre los períodos críticos, en este libro). Solo durante estos períodos críticos, las arquitecturas del cerebro pueden modificarse y optimizarse de acuerdo con criterios funcionales. Una vez que el período crítico respectivo termina, el conjunto de circuitos del área afectada de la neocorteza ya no puede modificarse. Las conexiones que se pierden no pueden recuperarse, y las conexiones inapropiadas no pueden suprimirse. La única forma de inducir más modificaciones en la arquitectura ahora cristalizada es cambiar la eficacia de las conexiones existentes. Se supone que estas modificaciones funcionales son la base del aprendizaje adulto, y después de la pubertad, están limitadas por las entonces arquitecturas anatómicas invariables.

La importante función que la experiencia desempeña en estos procesos de maduración posnatal está destacada por las alarmantes consecuencias de la privación sensorial. En la era preantibiótica, los bebés con frecuencia sufrían infecciones en los ojos, adquiridas de modo perinatal, que les causaban opacidades de la córnea o de la lente. Por ello, estos bebés no tenían visión de contorno. No podían recibir señales de alto contraste de los contornos y solo percibían cambios difusos en el brillo. Debido a las propiedades de respuesta preespecificadas que se ajustan para contrastar los bordes, las neuronas de la corteza cerebral no pueden responder bien a estos cambios globales en el brillo y, como consecuencia, la actividad entre las neuronas interconectadas a lo largo de la cascada de transmisión desde el ojo hasta las neuronas corticales tiene una mala correlación. A causa de estas malas correlaciones, las conexiones inicialmente formadas se interrumpen, y las que persisten están exentas de validación funcional y tienen una alta probabilidad de ser inadecuadas. A raíz de la falta de una visión de contorno normal, el sistema de circuitos de la corteza visual no puede desarrollarse con normalidad, los circuitos no pueden seleccionarse de acuerdo con criterios funcionales, y el proceso de desarrollo se detiene a un nivel inmaduro y no funcional. Una vez que pasa el período crítico, que en los gatos dura unos tres meses, y en los bebés humanos, cerca de un año después del nacimiento, estos déficits en la conectividad ya no pueden restablecerse. Las intervenciones quirúrgicas que restablecen los medios ópticos de los ojos, entonces, son en vano, porque el cerebro ya no puede procesar de modo adecuado las señales enviadas por los ojos. Los experimentos con animales revelaron que las retinas funcionan normalmente a pesar

de la privación temprana, pero las redes neuronales de la corteza visual no pueden procesar de modo adecuado los patrones de actividad entrantes. Los bebés que fueron sometidos a este restablecimiento tardío de la vista permanecen funcionalmente ciegos y, a lo sumo, desarrollan alguna percepción rudimentaria de los cambios de la luminancia.

Si bien, por razones obvias, no existen estudios sistemáticos sobre los efectos de la privación en las funciones cognitivas superiores, tales como la adquisición del lenguaje y la integración social, parece legítimo llegar a la conclusión, mediante la extrapolación, de que hay ventanas críticas para la adquisición de esas funciones superiores también y de que los efectos de la privación serán igualmente perjudiciales.

A pesar de la probable importancia de las ventanas de desarrollo para la adquisición de funciones cognitivas superiores, se conoce bastante poco sobre su inicio y su duración. Dado que el conocimiento acerca de estos ciclos temporales sería muy valioso para un mejor manejo de los planes educativos, la investigación en psicología del desarrollo obtendrá una importancia cada vez mayor en el campo de la pedagogía.

El valor adaptativo de la selección de los circuitos epigenéticos

Los alarmantes efectos que la privación tiene en la maduración de la arquitectura del cerebro plantean la pregunta de por qué la naturaleza ha implementado mecanismos de desarrollo que exponen el cerebro en maduración a los peligros de la experiencia sensorial. Es probable que abrir el proceso de desarrollo a influencias epigenéticas permita la realización de funciones que no podrían haberse conseguido solamente a través de instrucciones genéticas y compense en mucho los posibles peligros de la privación. Consideraciones sobre el desarrollo de las funciones visuales respaldan esta noción.

Los animales, incluidos los seres humanos, con ojos frontales tienen la capacidad de fusionar imágenes generadas en las dos retinas en un único percepto. Esto tiene, por lo menos, dos grandes ventajas. Primero, permite una mejora significativa de la proporción señal-ruido a través de la comparación de dos canales senso-

riales independientes. Segundo, permite la visión estereoscópica, la capacidad de extraer una información de profundidad precisa a través de la comparación de las disparidades entre las dos imágenes retinianas. A fin de realizar estas funciones que, sin duda, aumentan la aptitud del organismo, las conexiones entre los dos ojos y las neuronas corticales deben especificarse de un modo muy preciso. Se debe asegurar que las células ganglionares que codifican las señales desde el mismo punto en el espacio visual —siempre que el animal fije la vista con ambos ojos— converjan exactamente en las mismas neuronas corticales. En términos técnicos, hay que asegurar que los aferentes de los locus retinianos correspondientes terminen en las mismas células corticales. Varios argumentos sugieren que estos precisos patrones de conectividad no pueden lograrse solo con instrucciones genéticas. Cuáles locus retinianos en realidad corresponderán al sistema maduro depende de una serie de factores, tales como la distancia interocular, el tamaño exacto de los globos oculares y la localización exacta de los globos oculares en las órbitas. Estas variables dependen de una serie de factores epigenéticos, como los procesos de crecimiento que dependen de los nutrientes en el útero y otras interferencias epigenéticas. En consecuencia, no pueden ser anticipadas con suficiente precisión por el proceso de desarrollo genéticamente determinado. Sin embargo, existe una elegante estrategia para identificar, *a posteriori*, cuál de las conexiones en realidad proviene de los correspondientes locus retinianos, y esta es confiar en la actividad correlacionada. Por definición, los aferentes que se originan en los sitios retinianos correspondientes son activados exactamente por los mismos contornos del espacio visual. Por lo tanto, transmiten patrones de activación altamente correlacionados cuando el organismo fija un patrón con ambos ojos. Así, un mecanismo que es capaz de seleccionar, entre muchos aferentes distintos, aquellos que transmiten la actividad mejor correlacionada asegura la estabilización selectiva de los estímulos de los locus retinianos correspondientes. Este es exactamente el mecanismo según el cual los aferentes de los ojos a las células corticales son seleccionados durante el desarrollo. En este caso en particular, existe, en consecuencia, una buena razón para incluir la experiencia como factor moldeador en el desarrollo de los circuitos.

Hay argumentos relacionados que resultan pertinentes para otros procesos de desarrollo en los que la selección de los circuitos

corticales depende de la experiencia. A través de la estabilización selectiva de las conexiones que unen las neuronas que exhiben actividad correlacionada, las correlaciones del mundo externo que ocurren con frecuencia pueden trasladarse a la arquitectura de las conexiones. Por consiguiente, el sistema puede aprender acerca de las contingencias estadísticas en su medio y puede almacenar este conocimiento en sus arquitecturas de procesamiento. Este conocimiento, entonces, puede usarse para formular hipótesis fundadas acerca de las propiedades específicas del mundo en el que evoluciona el organismo. A través del moldeado epigenético de la arquitectura funcional del cerebro, los organismos pueden adaptar sus arquitecturas neuronales al medio en el que nacen, y esto economiza en gran medida los recursos computacionales que deben invertirse a fin de hacer frente a los desafíos específicos de los respectivos medios (véase Dehaene, este libro).

La adquisición del lenguaje brinda una impresionante ilustración de esta adaptación, dependiente de la experiencia, de los procesos cognitivos. La exposición a la lengua materna produce cambios irreversibles en las arquitecturas de procesamiento requeridas para la decodificación y la reproducción de dicho lenguaje. Por lo tanto, los niños desarrollan esquemas específicos para la prosodia de su lengua materna y para fonemas característicos. Esto les permite segmentar, rápida y automáticamente, el flujo continuo de sonidos producidos por los hablantes. Este no es el caso para la segunda y la tercera lengua si son adquiridas en etapas más tardías del desarrollo. En este caso, la segmentación ya no es automática, sino que requiere un control atencional, lo cual es la razón por la que hace falta realizar un esfuerzo para seguir conversaciones de múltiples hablantes en idiomas extranjeros adquiridos en forma tardía. Un ejemplo en particular sorprendente para el moldeado irreversible de las arquitecturas de procesamiento es la incapacidad de los hablantes de lenguas asiáticas de distinguir las consonantes «R» y «L». En realidad, son incapaces de oír la diferencia entre estas consonantes, porque las lenguas asiáticas las fusionan en una sola categoría de fonema (véase Goswami, este libro). La evidencia indica que es en extremo difícil —si no imposible— reinstalar estas fronteras de fonemas mediante el aprendizaje una vez que las ventanas del desarrollo para la adquisición de la lengua materna se han cerrado.

La opción de abrir el desarrollo de la arquitectura funcional del cerebro a modificaciones epigenéticas, dependientes de la expe-

riencia, tiene, por lo tanto, dos ventajas fundamentales frente a los procesos de desarrollo que dependen solamente de las instrucciones genéticas. Primero, al incluir señales del medio, permite la validación funcional y el ajuste de las conexiones hasta un grado que no puede conseguirse solo mediante instrucciones genéticas. Esto permite la ejecución de funciones que no podrían haberse desarrollado de otro modo. Segundo, la inclusión de influencias ambientales en el proceso de desarrollo permite la adaptación específica de las arquitecturas de procesamiento a las exigencias reales del medio en el que nacieron. Estas opciones obviamente compensan en mucho los riesgos asociados con la modificación epigenética de la arquitectura del cerebro.

El control del desarrollo dependiente de la experiencia mediante sistemas internos de regulación

Como puede esperarse, el cerebro en desarrollo tiene mecanismos para protegerse contra modificaciones epigenéticas inadecuadas de su arquitectura. Obviamente, no tiene posibilidad de defenderse contra la privación, porque la falta de información no puede compensarse. Sin embargo, la naturaleza ha implementado poderosos mecanismos que permiten al cerebro excluir señales ambientales del moldeado de su arquitectura, que son identificadas como inadecuadas o conflictivas. Para la inducción de modificaciones, dependientes de la actividad, de los circuitos en desarrollo, su consolidación o su interrupción, hace falta que la actividad neuronal active complejas cascadas de interacciones moleculares. Esta cadena altamente compleja de procesos moleculares está, a su vez, controlada por señales de fuentes múltiples que permiten o imposibilitan la traducción de la actividad neuronal a modificaciones anatómicas duraderas. Estas señales de regulación derivan de proyecciones de retroalimentación que se originan en otras áreas de procesamiento y de sistemas moduladores que controlan los estados cerebrales globales y cuya actividad está modulada por factores tales como la atención, el valor de recompensa de los estímulos y la relevancia del comportamiento. Estos sistemas de control aseguran que solo aquellas señales del ambiente puedan inducir modificaciones en el circuito que corresponden a las expectativas y las necesidades del cerebro en desarrollo.

La selección, dependiente de la experiencia, de los aferentes retinianos correspondientes es, por otra parte, un buen ejemplo. Esta selección solo puede ser exitosa si está confinada a épocas en las que el bebé no mueve los ojos, pero fija un blanco con ambos ojos. Solo en esas instancias, la actividad de los locus retinianos correspondientes está en realidad correlacionada. Por lo tanto, hay que asegurar que la selección de los circuitos esté confinada a episodios en los que el bebé tiene los ojos ajustados en forma adecuada. A fin de asegurarlo, la naturaleza ha implementado varios mecanismos de control paralelos. Sobre la base de las instrucciones genéticas, ya está establecida una correspondencia rudimentaria entre los aferentes de los dos ojos antes de que comience el período crítico de ajuste dependiente de la experiencia. La consecuencia es que la actividad de la red resuena mejor si las imágenes en los dos ojos se corresponden en forma aproximada que si los ojos no están alineados adecuadamente. Como la actividad fuerte y resonante induce modificaciones de los circuitos con mayor eficacia que la actividad débil e incoherente, es más probable que ocurran modificaciones de los circuitos cuando los ojos ya están en una posición cercana a la óptima. Además, existe un estímulo de los receptores de estiramiento de los músculos extraoculares que señalan si los ojos están en reposo o en movimiento. Estas señales también cumplen una función al regular la selección, dependiente del uso, de las conexiones de los aferentes. Finalmente, se requiere la actividad de varios sistemas moduladores, cuya actividad está regulada como una función de estimulación y de atención. La actividad de estos sistemas moduladores garantiza que solo aquellas señales puedan inducir cambios duraderos en el sistema de circuitos de los que se ocupa el organismo y a los que se les atribuye una importancia conductual (véase Posner y cols., en este libro). En consecuencia, el conocimiento previo que reside en la arquitectura del cerebro genéticamente determinada se usa para seleccionar las señales ambientales que son apropiadas para el moldeado epigenético de la arquitectura del cerebro. El cerebro en desarrollo conoce la naturaleza de las señales que pueden usarse para la optimización de su sistema de circuitos. Por lo tanto, el cerebro en desarrollo emprende una búsqueda activa de las señales que necesita a fin de respaldar su propio desarrollo. Según el ciclo temporal de las diversas ventanas de desarrollo, la naturaleza de las señales requeridas cambia. En consecuencia, solo se tienen en cuenta aquellos

estímulos para los cambios en los circuitos que concuerdan con las necesidades del verdadero proceso de desarrollo. De ello, se desprende que el cerebro en desarrollo tiene la iniciativa en todos los procesos de desarrollo dependiente de la experiencia. Plantea preguntas específicas en etapas del desarrollo específicas, dirige su atención en forma selectiva a los patrones de estímulos especiales y acepta solo aquellas señales para la optimización de los circuitos que se ajusten a las expectativas prediseñadas (para un análisis de la bibliografía pertinente, véase Singer, 1990).

Estas nociones tienen consecuencias de gran alcance para el diseño de los planes educativos. Es obvio que la privación tendrá consecuencias desastrosas en todas las etapas del desarrollo. Sin embargo, también es obvio que no tiene sentido ofrecer tantos estímulos como sea posible durante todo el tiempo que sea posible. El cerebro en desarrollo utilizará solo aquellas señales que en realidad necesita, y existe el riesgo de que ofrecer demasiados estímulos demasiado diversos tenga un efecto de distracción y le dificulte al cerebro concentrarse en aquellas señales que necesita. Es probable que una estrategia más efectiva sea observar cuidadosamente el comportamiento espontáneo de los niños, descubrir cuáles son sus necesidades y sus intereses en las diversas etapas de desarrollo, y luego proporcionar respuestas lo más amplias y lo menos ambiguas posible. Lo que en realidad los niños están buscando y requieren para un desarrollo exitoso puede descifrarse con facilidad a partir de sus actitudes emocionales. No solo buscan espontáneamente los estímulos que necesitan, sino que también responden a la disponibilidad de los estímulos requeridos con emociones positivas. Como los ciclos temporales de las diversas ventanas de desarrollo pueden mostrar una considerable variabilidad interindividual, es importante descubrir cuándo un niño en particular necesita qué información a fin de promover su desarrollo cerebral. Esto puede lograrse observando cuidadosamente qué actividades atraen la atención de ese niño y suscitan su interés.

La importancia del descanso y el sueño en el desarrollo del cerebro dependiente de la experiencia

Hace tiempo que se sabe que el sueño tiene efectos benéficos para la consolidación de los recuerdos. Durante las últimas déca-

das, esta noción general ha recibido un fuerte respaldo por parte de estudios experimentales bien controlados. El sueño aparece como un proceso activo altamente estructurado mediante el cual rastros de la memoria que se han acumulado a lo largo del día se reorganizan y se consolidan.

Estudios neurofisiológicos sugieren que los patrones de actividad inducidos por ensayos de aprendizaje se repiten durante fases particulares del sueño, y se cree que ello promueve la consolidación de los rastros de la memoria (Louie y Wilson, 2001; Hoffman y McNaughton, 2002). De manera interesante, no solo la consolidación de recuerdos declarativos, es decir, almacenados en forma consciente, requiere del sueño, sino también la adquisición de capacidades que se obtienen a través del aprendizaje procedimental, es decir, a través de la práctica. Un ejemplo bien examinado es el aprendizaje perceptual. Si los sujetos practican discriminar ciertas características visuales, tales como la orientación de los contornos, su desempeño aumenta con el tiempo de un modo altamente específico para la tarea en particular. Esta mejora de una capacidad instrumental que se apoya en las modificaciones de las propiedades de respuesta de las neuronas de la corteza visual también requiere la consolidación a través del sueño. Si los sujetos son privados de sueño después de las sesiones de capacitación, el rendimiento no mejora (Ahissar y Hochstein, 1997).

Aún más sorprendente es la creciente evidencia de que también las modificaciones, dependientes de la experiencia, de la arquitectura neuronal que ocurren durante el desarrollo del cerebro requieren del sueño para su expresión y su consolidación. La evidencia, nuevamente, proviene de experimentos de privación en el sistema visual. En experimentos tempranos, se descubrió que la experiencia visual tenía efectos más profundos en las propiedades de respuesta de las neuronas corticales de cachorros de gato cuando estos eran expuestos al ambiente visual solo durante breves períodos, y luego se les permitía descansar en la oscuridad, que cuando eran expuestos al mismo ambiente durante un período de tiempo similar en forma ininterrumpida (Mioche y Singer, 1989). Otro estudio mostró que los cambios en los circuitos no ocurrían a pesar de la exposición a condiciones visuales que normalmente producen cambios drásticos cuando los animales eran anestesiados luego de la exposición y, por lo tanto, se les impedía dormir en forma natural (Rauschecker y Hahn, 1987). Un estudio más reciente

brindó una evidencia directa de que la interferencia con una fase de sueño en particular, el llamado sueño paradójico o de movimientos oculares rápidos, es suficiente para interrumpir la selección del circuito dependiente de la experiencia. Por lo tanto, los procesos de desarrollo dependientes de la experiencia parecen depender del sueño de la misma manera que la formación de recuerdos mediante el aprendizaje convencional (véase Cardinali, este libro).

Esta evidencia obtenida de la experimentación con animales debería tener consecuencias para la organización de los cronogramas de ocupación en guarderías. Es de esperarse que los niños requieran episodios de descanso y, presumiblemente, también de sueño después de fases durante las que tuvieron experiencias particulares intensas. En consecuencia, debemos considerar organizar las guarderías de tal modo que permita a los niños retirarse a dormir una siesta según sus necesidades individuales. Hasta donde yo sé, no existen estudios sistemáticos acerca de la relación entre los patrones de sueño, el aprendizaje y la maduración del cerebro en niños, pero los datos de experimentos con animales sugieren fuertemente que el descanso y el sueño desempeñan una función fundamental, incluso en los procesos de desarrollo.

Mecanismos de aprendizaje del adulto

Como ya se mencionó, en general se supone que el aprendizaje del adulto se apoya en cambios en la eficacia de las conexiones excitatorias y/o inhibitorias. Los mecanismos que median estos cambios inducidos por el aprendizaje en la fuerza de acoplamiento entre las neuronas se parecen mucho a los que median los cambios en los circuitos, dependientes de la actividad, durante el desarrollo dependiente de la experiencia. Las conexiones excitatorias entre las neuronas se fortalecen si estas neuronas se descargan de un modo correlacionado, mientras que se debilitan si la actividad de las células está temporalmente inconexa. Los procesos moleculares que evalúan las correlaciones temporales entre los patrones de activación neuronal y las traducen a modificaciones duraderas de fuerza de acoplamiento son, por lo general, los mismos que los que promueven la selección del circuito dependiente de la actividad durante el desarrollo (para un análisis, véase Singer, 1995). La única diferencia importante es que, en el adulto, el debilitamiento

de las conexiones ya no está seguido de su supresión y que no se forman nuevas conexiones. Sin embargo, hay algunas excepciones. Durante los últimos años, ha aparecido evidencia de que en algunas regiones cerebrales específicas, partes del hipocampo y las neuronas del bulbo olfatorio, siguen generándose a lo largo de la vida, y estas neuronas forman nuevas conexiones y se integran a sistemas de circuitos existentes (para un análisis, véase Kempermann y cols., 1997). Por lo tanto, en estas áreas específicas del cerebro, los procesos de desarrollo persisten a lo largo de la vida, y en la actualidad no está claro por qué solo sucede en estas regiones en particular y no en la corteza cerebral, donde se supone que tiene lugar la mayor parte de las modificaciones relacionadas con el aprendizaje.

El aprendizaje del adulto se parece a procesos de desarrollo dependientes de la experiencia también con respecto a su dependencia de mecanismos de atención, de sistemas de recompensa y del sueño. Por lo tanto, es probable que todas las estrategias que se han desarrollado a fin de mejorar los procesos de aprendizaje en el adulto sean útiles también para la promoción de procesos de desarrollo dependientes de la experiencia en los jóvenes. Lo que se requiere ahora es la transferencia de conocimiento acerca de los procesos de desarrollo, dependientes de la experiencia, que se ha acumulado con la experimentación neurobiológica en los programas educativos. Esto necesita una intensificación de la investigación en la psicología del desarrollo y la incorporación de técnicas no invasivas para la evaluación de los procesos cerebrales en niños. Dichos métodos ahora están disponibles y pueden aplicarse a niños, como los registros electroencefalográficos o magnetoencefalográficos junto con la tomografía de resonancia magnética funcional (para otras técnicas, tales como la espectroscopia de infrarrojo cercano, EIC; topografía óptica, TO, véase Koizumi y Petitto, este libro). Estos enfoques pueden ayudar a definir con mayor precisión los períodos críticos del desarrollo de funciones cerebrales particulares y a diseñar estrategias adaptadas para la optimización de procesos de desarrollo dependientes de la experiencia.

Referencias

Ahissar, M. y Hochstein, S. (1997). «Task difficulty and the specificity of perceptual learning», *Nature*, 387, 401-406.

- Hoffman, K. L. y McNaughton, B. L. (2002). «Coordinated reactivation of distributed memory traces in primate neocortex», *Science*, 297, 2070-2073.
- Kempermann, G., Kuhn, H. G. y Gage, F. H. (1997). «More hippocampal neurons in adult mice living in an enriched environment», *Nature*, 386, 493-495.
- Louie, K. y Wilson, M. A. (2001). «Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep», *Neuron*, 29, 145-156.
- Mioche, L. y Singer, W. (1989). «Chronic recordings from single sites of kitten striate cortex during experience-dependent modifications of receptive field-properties», *Journal of Neurophysiology*, 62, 185-197.
- Rauschecker, J. P. y Hahn, S. (1987). «Ketamine-xylazine anaesthesia blocks consolidation of ocular dominance changes in kitten visual cortex», *Nature*, 326, 183-185.
- Singer, W. (1990). «The formation of cooperative cell assemblies in the visual cortex», *Journal of Experimental Biology*, 153, 177-197.
- (1995). «Development and plasticity of cortical processing architectures», *Science*, 270, 758-764.

Cronoeducación: Cómo el reloj biológico influye en el proceso de aprendizaje

Daniel P. Cardinali

Introducción

La investigación de la neurociencia puede ser de gran ayuda para mejorar el rendimiento escolar en niños y en adolescentes. Por ejemplo, sabemos que la privación de sueño afecta en forma significativa la memoria y la adquisición de muchas habilidades, y perturba también el funcionamiento emocional y cognitivo. Al inducir la privación de sueño en muchas personas en la mayoría de los ambientes urbanos, la sociedad moderna de 24 horas puede transformarse en una amenaza a la conducta saludable. Los adolescentes, en particular, tienden a dormir menos durante la época escolar a causa de acostarse tarde (trabajo o entretenimiento) y levantarse temprano para ir a la escuela. Este patrón cultural actual está fuera de fase respecto del reloj corporal interno y de los ritmos circadianos que son el resultado de millones de años de adaptación biológica en mamíferos. Ciertamente, las personas no estamos preparadas para estar despiertas cuando la temperatura de nuestro cuerpo está al mínimo, por ejemplo. Además, el patrón cíclico del sueño y de la vigilia cambia con la edad. Los adolescentes muestran una tendencia hacia una conducta más nocturna, y su mejor momento del día, en general, es por la noche. Esta es la razón por la que pueden estar somnolientos por la mañana y más alertas cuando sus clases ya casi terminaron. Al prestar atención a estos hechos de la cronoeducación, las escuelas pueden mejorar el aprendizaje de los estudiantes creando una mejor conexión entre los ritmos diurnos y el cronograma escolar.

Los compiladores

Muchas funciones biológicas crecen y decrecen en ciclos que se repiten todos los días, meses o años. Estos patrones no reflejan solo la respuesta pasiva del organismo a cambios ambientales. Más bien, reflejan los ritmos biológicos del organismo, es decir, su capacidad de llevar un registro y de dirigir cambios acordes en las funciones.

Debido a que la Tierra rota sobre su eje, presenta dos ámbitos, es decir, la luz y la oscuridad. Como el eje de rotación de la Tierra está inclinado, la duración de los períodos diarios de oscuridad y de luz varía en forma sistemática durante el año. A través de la evolución, los animales respondieron a estos cambios ambientales preferentemente adaptándose a ellos (véase Koizumi, este libro).

El reloj circadiano es una de las funciones biológicas más indispensables

Este es el origen de los ritmos biológicos que se repiten aproximadamente cada 24 horas, llamados ritmos circadianos (del latín *circa*, alrededor, y *dies*, día), y de los ritmos que oscilan anualmente, luego de la aparición recursiva de las estaciones. Así, cuando los animales cambian su comportamiento según los modos diurno, nocturno o estacional, no están simplemente respondiendo en forma pasiva a cambios en las condiciones externas de luz. Están respondiendo a señales generadas por un marcapasos circadiano escrito en sus genes que está sincronizado con los ciclos de rotación de la Tierra, anticipa las transiciones entre el día y la noche, y provoca cambios apropiados en el estado conductual y los sustratos fisiológicos. De esta manera, el marcapasos circadiano crea un día y una noche dentro del organismo, que refleja aproximadamente el mundo exterior.

Durante la última década, hubo un gran progreso al determinar los componentes moleculares del reloj biológico. Los mecanismos moleculares que subyacen bajo la función del reloj están universalmente presentes en todas las células y constan de circuitos de retroalimentación gen-proteína-gen en los que las proteínas pueden regular por descenso su propia transcripción y estimular la transcripción de otras proteínas reloj (Hastings, Reddy y Maywood, 2003).

Aunque los ritmos circadianos están anclados genéticamente, se hallan sincronizados (acoplados) a factores externos (exógenos) y

mantienen ciertas relaciones de fase con ellos, en especial la parte de sueño del cronograma luz-oscuridad. Estos ritmos persisten con un período diferente de 24 horas cuando las claves del tiempo exterior se suprimen o se eliminan, tal como sucede durante un total aislamiento social o con luz o una oscuridad constantes.

La investigación en animales y en seres humanos ha mostrado que solo algunas de estas claves ambientales, como los ciclos de luz y de oscuridad, son efectivos agentes sincronizadores para el oscilador circadiano (*Zeitgeber*). Un agente sincronizador puede, de hecho, reiniciar o desfasar el reloj interno. Según cuándo se expone un organismo a dicho agente sincronizador, los ritmos circadianos pueden adelantarse, atrasarse o permanecer sin cambios. Por lo tanto, involucrada en el ajuste del patrón de actividad diaria con el momento apropiado del día, hay una variación rítmica en la influencia del *Zeitgeber* como factor de reinicio (Murphy y Campbell, 1996; Cardinali, 1998; Asayama y cols., 2003).

En los mamíferos, un oscilador circadiano jerárquicamente fundamental está localizado en el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo. El reloj maestro circadiano del NSQ actúa como un temporizador multifuncional para ajustar el sistema homeostático, incluidos el sueño y la vigilia, las secreciones hormonales y diversas otras funciones corporales, al ciclo de 24 horas (Rusak y Zucker, 1979; Murphy y col., 1996; Cardinali, 1998; Hastings y cols., 2003).

Los mecanismos circadianos están activos en los seres humanos modernos

Nuestro antepasado homínido, el *Homo erectus*, usaba cuevas como refugio y puede haber utilizado el fuego ya hace 1,5 millones de años. El *Homo sapiens* comenzó a construir viviendas artificiales (que podían bloquear los rayos del sol) ya hace 45 000 años y a fabricar lámparas (que podían usarse para extender el período diurno de iluminación hasta las horas de la noche) ya hace 28 000 años. En los últimos doscientos años, los seres humanos han desarrollado lámparas cada vez más eficaces y fuentes de energía económicas para encenderlas. Al mismo tiempo, han desplazado cada vez más sus actividades del campo a la ciudad y del exterior al interior de los edificios, donde la luz natural no puede penetrar. En

consecuencia, los hombres se han aislado cada vez más de los ciclos naturales de luz y de oscuridad que han moldeado los ritmos endógenos de vida en este planeta durante miles de millones de años.

Sin embargo, la luz, cuando se aplica en forma apropiada, puede tener efectos profundos en el reloj circadiano humano. En voluntarios normales, la exposición a la luz brillante durante la primera parte de la noche retrasa la fase del ciclo circadiano; un cambio comparable de luz cerca del final de la noche lo adelanta. En otros momentos durante el día, la exposición a la luz no tiene influencia respecto del cambio de fases (Rusak y col., 1979; Murphy y col., 1996; Cardinali, 1998; Hastings y cols., 2003).

La melatonina, hormona producida por la glándula pineal y que es el código químico endógeno de la noche, mostró una curva de respuesta a la luz, de la fase opuesta, al producir adelantos en las fases durante la primera mitad de la noche y retrasos en las fases durante la segunda (Cardinali, 1998). En efecto, la melatonina es el prototipo endógeno de una clase de compuestos que pueden alterar el reloj biológico, llamados «cronobióticos». Ahora se justifica el uso de melatonina en una serie de patologías que presentan una alteración circadiana, como la ceguera (Skene, 2003) o la enfermedad de Alzheimer (Cardinali, Brusco, Liberczuk y Furio, 2002).

Entre los innumerables cambios periódicos que subyacen bajo los ritmos fisiológicos manifestos y los respaldan, los valores máximos ocurren en una secuencia característica a lo largo del día («mapa de fases») en sujetos humanos sanos. Esta secuencia y este espaciamiento reflejan el orden y las relaciones temporales de causa y efecto en las interacciones normales de los diversos procesos corporales y son el indicador mismo de la salud del organismo (Cardinali, Jordá Catalá y Sánchez Barceló, 1994). Los mapas de fases pueden sufrir alteraciones transitorias cuando los seres humanos se ven obligados a hacer un ajuste rápido de las fases como, por ejemplo, después de un traslado rápido a una nueva longitud geográfica o como consecuencia de un trabajo por turnos o después de cambios repentinos de hábitos diurnos a nocturnos, como los observados entre los adolescentes.

En estas circunstancias, los diversos componentes individuales de 24 horas que comprenden el mapa de fases circadiano no reajustan sus fases a los nuevos tiempos ambientales con la misma velocidad y se desplazan, en cierta medida, en su relación unos con otros. Reajustarlos a la nueva hora local requiere varios días de exposición a los marcadores locales de las fases. Este fenómeno

resulta muy familiar a las personas que han viajado grandes distancias en forma rápida a través de varias zonas horarias. El desplazamiento rítmico resultante y la necesidad de un ajuste gradual entre dos y diez días al cabo de ese viaje se conoce como «efecto del cambio horario» (*jet-lag*) (Hastings y cols., 2003).

El sueño-la vigilia es el ritmo circadiano más conspicuo en los seres humanos

El sueño es un proceso esencial de la vida. Es un estado conductual definido por: (i) una relajación característica de la postura; (ii) umbrales sensitivos altos; y (iii) signos electroencefalográficos (EEG) inconfundibles (Figura 7.1).

Dos principales hipótesis, aunque no excluyentes entre sí, han sido predominantes a la hora de interpretar el sueño: (i) el sueño es restaurador para el metabolismo cerebral; (ii) el sueño contribuye a la consolidación de la memoria y al proceso de aprendizaje.

Una dificultad para entender el sueño es que no es un estado unitario, sino que está compuesto de dos subestados. Uno está caracterizado por movimientos oculares rápidos (sueño MOR); el otro, en el que no hay movimientos oculares rápidos, es conocido como sueño no MOR (NMOR) o sueño de ondas lentas (Figs. 7.1 y 7.2). En cualquier episodio típico de sueño, los dos subestados se alternan; en adultos humanos, el ciclo de sueño NMOR-MOR tiene un período de 90-100 minutos (Figs. 7.2 y 7.3) (Hobson y Pace-Schott, 2002; Pace-Schott y Hobson, 2002).

En el EEG, se distinguen cuatro etapas del sueño NMOR. La etapa 1 es la del sueño ligero, con actividad de amplitud baja y frecuencia alta. La etapa 2 se caracteriza por la presencia de husos y es más superficial que las etapas 3 y 4, que están dominadas por la actividad de ondas lentas (Fig. 7.1). Durante el sueño MOR humano, el EEG se asemeja al patrón de amplitud baja y frecuencia alta del sueño NMOR de la etapa 1. El tono en la mayoría de los músculos voluntarios es mínimo, pero el sistema nervioso autónomo y los músculos oculares están fásicamente activos, lo cual da al sueño MOR cierta semejanza con el estado de vigilia; por ello, a veces se lo denomina sueño «paradójico». En todos los mamíferos, el sueño se inicia con NMOR y es interrumpido por MOR a intervalos regulares. En humanos maduros, el período promedio de sueño noc-

turno consta de cuatro a cinco de estos ciclos. Luego de un período prolongado de actividad de vigilia (como en los seres humanos), los primeros ciclos se caracterizan por la preponderancia de actividad de alto voltaje y de ondas bajas (es decir, se acentúa la fase NMOR), mientras que los últimos ciclos muestran más actividad de bajo voltaje y de ondas rápidas (es decir, se acentúa la fase MOR) (Figs. 7.2 y 7.3) (Hobson y col., 2002; Pace-Schott y col., 2002).

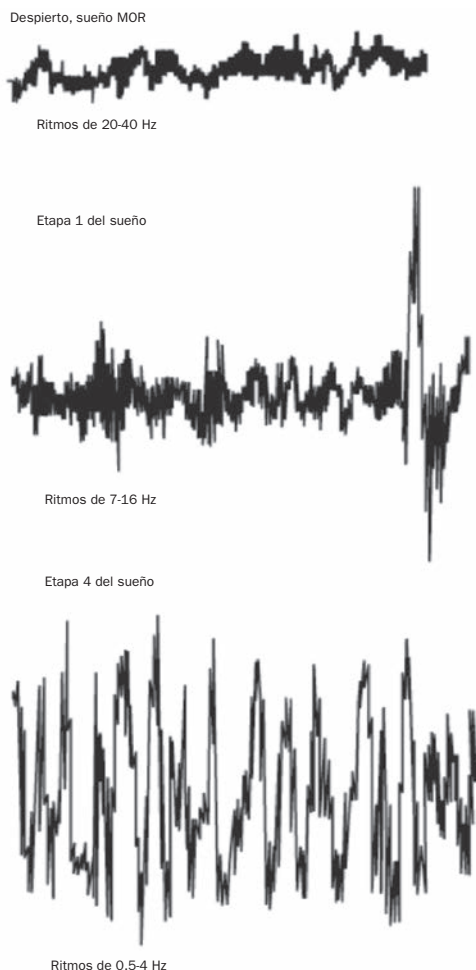


Figura 7.1 Típico registro electroencefalográfico de las fases de vigilia y de sueño.

Los ciclos recurrentes de sueño NMOR y MOR están acompañados por cambios importantes en todos los sistemas fisiológicos del cuerpo. En efecto, puede decirse que vivimos secuencialmente en «tres cuerpos diferentes»: el de la vigilia, el de NMOR y el de MOR. Un adulto que vive 75 años, pasa aproximadamente 50 años en estado de vigilia, 19 años en sueño NMOR y 6 años en sueño MOR. Se han documentado sorprendentes diferencias fisiológicas entre estas tres etapas (o «cuerpos»). Durante el sueño NMOR, hay disminuciones en la presión arterial y en las frecuencias cardíaca y respiratoria, y tiene lugar una liberación pulsátil de hormonas anabólicas, como la hormona de crecimiento, junto con un aumento general de la función inmunitaria. La concomitancia de estos eventos da crédito a la noción de que el sueño NMOR está funcionalmente asociado con procesos anabólicos y citoprotectores. El cerebro mismo está hipoactivo, tal como lo indica una reducción del 20%-30% en el consumo de oxígeno, algo parecido a lo que se observa en una anestesia ligera. Durante el sueño NMOR, se sintetizan varios factores neurotróficos (Mazzoni y cols., 1999; Peigneux, Laureys, Delbeuck y Maquet, 2001).

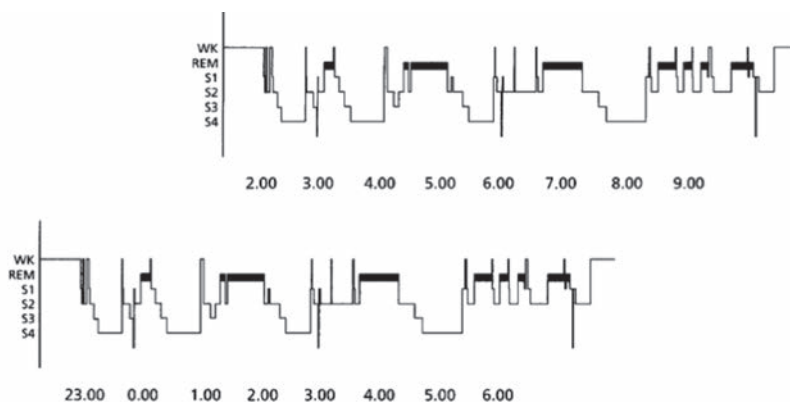


Figura 7.2 Arquitectura del sueño evaluada poligráficamente en un joven adolescente, que muestra un síndrome de la fase del sueño retrasada (panel superior) en comparación con un adulto normal (panel inferior). WK: vigilia; REM: sueño MOR (barras oscuras); S1-S4: Etapa 1 a Etapa 4 del sueño NMOR. En las abscisas, la hora.

En contraste, el sueño MOR está asociado con una etapa «antihomeostática». Los mecanismos reguladores que controlan las funciones cardiovascular, respiratoria y termorreguladora se vuelven altamente ineficientes. La frecuencia cardíaca y la presión arterial aumentan, y la frecuencia respiratoria se vuelve irregular. La erección del pene en los hombres y el engrosamiento del clítoris en las mujeres acompañan la activación cerebral y autonómica de esta fase, y la musculatura somática se inhibe activamente. Despertarse de un sueño activado o MOR, en general, ofrece informes detallados de sueños alucinoides, incluso en sujetos que rara vez o nunca recuerdan los sueños en forma espontánea. Esto indica que la activación cerebral en esta fase del sueño es lo bastante intensa y organizada para soportar procesos mentales complejos y, por otra parte, argumenta en contra de una función de descanso para la mayor parte del cerebro en el sueño MOR. De hecho, varias áreas del cerebro, por ejemplo, el sistema límbico, están más activas que durante la vigilia (Hobson y col., 2002; Pace-Schott y col., 2002).

Un importante elemento fisiológico concomitante del sueño MOR es la pérdida de la regulación de la temperatura. Si la temperatura ambiente o la temperatura corporal comienzan a caer, el sueño se interrumpe, pero los procesos termorreguladores no pueden ponerse a funcionar durante el sueño MOR. Por lo tanto, la noción de que los humanos somos animales homeotérmicos ya no es válida. ¡Nos parecemos a las serpientes, por lo menos en parte de nuestra vida! La lógica de la desconexión somática y autonómica es que si ocurriera, este período del sueño podría resultar perjudicial para la supervivencia del individuo. Existen varios aspectos del sueño, incluidos la continuidad, el ritmo y el uso de patrones para las diferentes etapas del sueño, que son necesarios para que ocurra el proceso restaurador. Por ejemplo, si a los sujetos se les permite dormir *ad libitum* entre 8 y 10 horas, pero se los despierta cada 15 minutos durante períodos breves, al día siguiente indicarán que sufren cansancio, fatiga y cambios emocionales similares a los que se sienten al dormir en forma insuficiente. De modo semejante, si a los sujetos se les permite dormir *ad libitum*, pero son selectivamente privados de una etapa del sueño, tal como la del sueño de movimientos oculares rápidos (MOR) o sueño lento, también informarán déficits de atención durante el día (Hobson y col., 2002; Pace-Schott y col., 2002).

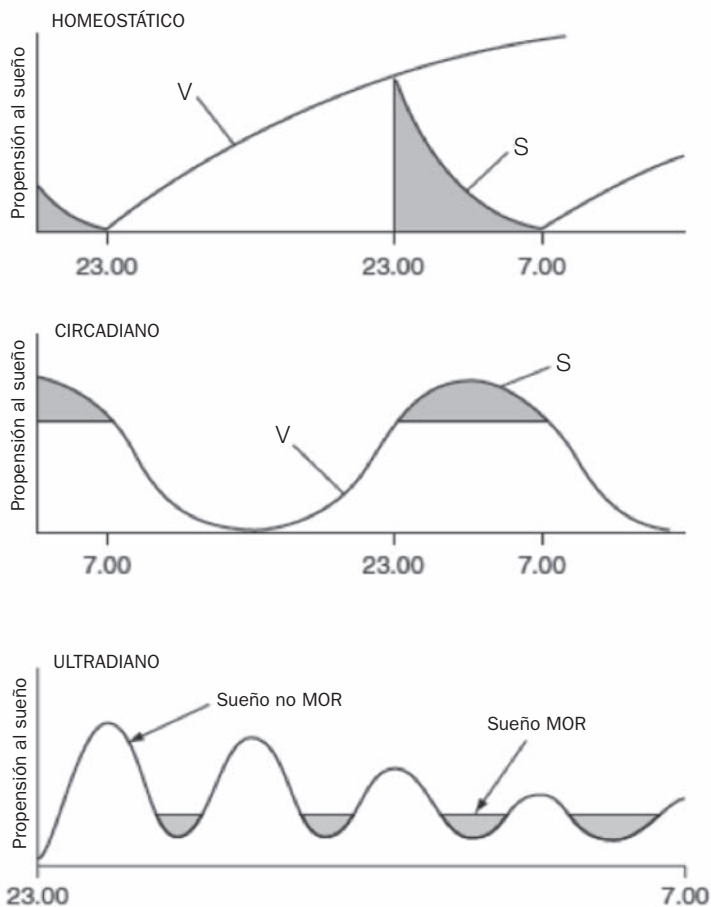


Figura 7.3 Tres procesos interactivos regulan el ritmo, la duración y la profundidad, o intensidad, del sueño: un proceso homeostático que mantiene la duración y la intensidad del sueño, un ritmo circadiano que determina el momento del sueño y un ritmo ultradiano dado por la secuencia de sueño no MOR-sueño MOR.

Tres procesos interactivos regulan el ritmo, la duración y la profundidad, o intensidad, del sueño: un proceso homeostático que mantiene la duración y la intensidad del sueño dentro de ciertos límites, un ritmo circadiano que determina el momento del sueño y un ritmo ultradiano dado por la alternancia del sueño no MOR-sueño MOR (Fig. 7.3). El proceso homeostático depende de la historia inmediata: el intervalo desde el episodio de sueño anterior y la intensidad de sueño de ese episodio. Este impulso de entrar en el sueño aumenta, posiblemente en forma exponencial, con el lapso transcurrido desde el final del episodio de sueño anterior. Declina en forma exponencial una vez que el sueño se ha iniciado. Esto refuerza la naturaleza cíclica del sueño y la vigilia, y equipara el sueño con otras necesidades fisiológicas, tales como el hambre y la sed. El impulso de sueño homeostático controla el sueño NMOR más que el sueño MOR.

En contraste, la fase y la amplitud del ritmo circadiano son independientes de la historia del sueño anterior, pero son generadas por el más importante marcapasos, el NSQ. La variación circadiana de la propensión humana al sueño es, en líneas generales, inversa al ritmo de la temperatura corporal interna: la máxima propensión a dormir y la mayor continuidad de sueño ocurren cerca de la temperatura mínima (Fig. 7.3).

En la regulación del sueño, también deben tenerse en cuenta los impulsos de adaptación, incluida una variedad de mecanismos que influyen sobre el sueño, pero que son independientes del tiempo que se pasó despierto y de los ritmos circadianos. Los factores de adaptación modifican el ciclo de sueño-vigilia de acuerdo con cambios en el medio ambiente, que son importantes para el individuo. Incluyen factores conductuales, como la motivación, la atención y otras respuestas psicológicas al medio (por ejemplo, la comodidad de la cama, la actividad social), el ruido, la temperatura ambiental, el ejercicio físico y el consumo de alimentos (Hobson y col., 2002; Pace-Schott y col., 2002).

El sistema circadiano influye en el proceso educativo

Un principio general muy importante acerca del sistema circadiano pertinente al aprendizaje es que se adapta lentamente a los cambios en los horarios de sueño-vigilia. Por lo tanto, los adolescentes que con rapidez cambian los horarios de sueño-vigilia entre

noches y fines de semana de época escolar o de vacaciones, pueden enfrentarse a las consecuencias circadianas (Sadeh, Gruber y Raviv, 2003; Shin, Kim, Lee, Ahn y Joo, 2003; Carskadon, Acebo y Jenni, 2004). Otro principio general importante acerca del sistema del ritmo circadiano pertinente a la educación es que el sistema circadiano se adapta con más facilidad a retrasos en el horario de sueño-vigilia más que a adelantos. Por ello, naturalmente es más fácil permanecer despierto hasta más tarde y dormir hasta más tarde los fines de semana y es más fácil viajar dos o tres husos horarios hacia el oeste más que hacia el este (Cardinali y cols., 1994; Hastings y cols., 2003).

La importancia de estos principios para los patrones de sueño de los adolescentes es directa. Muchos adolescentes tienen cambios abruptos en el ritmo de su sueño entre los horarios normales de la escuela, que requieren que se levanten temprano por la mañana, y las idas a dormir tarde, con cambios rápidos al acostarse tarde y dormir hasta tarde durante los fines de semana y las vacaciones. Por ejemplo, un adolescente que se acuesta a las 3.00 de la madrugada los fines de semana y duerme hasta mediodía retrasará las fases de su sistema circadiano durante la época de vacaciones para permanecer despierto hasta las 3.00 de la madrugada en pocos días. Sin embargo, el cambio a una hora más temprana al cabo del período de vacaciones, compatible con ir a la escuela temprano por la mañana, requerirá varios días de un horario estable para cambiar la temperatura y los ritmos hormonales por completo.

En consecuencia, muchos adolescentes, en particular aquellos que se quedan dormidos o faltan a clases ocasionalmente en la mitad de la semana, pueden experimentar síntomas del cambio horario como fatiga, dificultad para conciliar el sueño por la noche y dificultad para despertarse por la mañana. En la versión más severa de este problema, denominado síndrome de la fase del sueño retrasada, los adolescentes y sus familias muchas veces discuten durante meses porque se acuestan tarde y por las grandes dificultades para despertarse los días de clase (Fig. 7.2). De hecho, los adolescentes están tratando de despertarse en el momento en que su temperatura corporal es la mínima, cuando su cuerpo no está preparado para estar despierto y activo. Un principio importante que debe considerarse es que los cambios lentos, constantes y coherentes en el ritmo de sueño-vigilia permitirán que el sistema circadiano se vuelva a alinear para alcanzar un patrón más apropiado.

El sueño influye en gran medida en la educación

Cuando el sueño es tenido en cuenta dentro del contexto educativo, aparecen varios aspectos importantes. Uno se ocupa de la asociación de los procesos de aprendizaje con el sueño. Varios estudios han mostrado el aumento de la cantidad de sueño o la arquitectura del sueño luego de las tareas de aprendizaje (Carskadon y cols., 2004). Por ejemplo, se informaron correlaciones positivas entre el número de ciclos de sueño NMOR y la memorización de listas de palabras (Mazzoni y cols., 1999). Se ha demostrado que el aprendizaje de laberinto aumentó la etapa 2 del sueño y la actividad de onda lenta del EEG en el sueño subsiguiente (Peigneux y cols., 2001), y se informó acerca de aumentos similares en los husos del EEG después de la memorización de listas de palabras (Gais, Plihal, Wagner y Born, 2000), y dichos aumentos están correlacionados positivamente con el rendimiento de la memoria. De modo interesante, se ha informado que el sueño NMOR de etapa 2, que es en particular rico en actividad de onda lenta del EEG, está relacionado en forma positiva con la adquisición de varias habilidades.

Otro principio central acerca del sueño, que es de particular importancia para los aspectos del desarrollo humano, es el vínculo cercano entre el sueño y las percepciones de amenaza/seguridad. El sueño, desde un punto de vista conductual, supone la pérdida de conciencia y de reactividad respecto del medio externo. Durante el sueño, la mayor parte de la información exteroceptiva se detiene a la altura del tálamo e impide la percepción de amenazas potenciales en el medio y la respuesta conductual a ellas. Como resultado, la mayoría de las especies han desarrollado mecanismos para asegurar que la conducta durante el sueño esté limitada a nichos relativamente a salvo de los predadores. También tiene sentido que toda percepción de amenaza y la consiguiente activación aumentada sea lo opuesto a quedarse dormido. Este vínculo entre el sueño y la seguridad tiene una importancia clínica respecto de los problemas del sueño.

En el medio ancestral humano, un grupo social muy unido brindó protección contra los predadores. El cerebro humano se desarrolló en condiciones en las que este sentido de pertenencia social era crucial para la seguridad. Las tendencias naturales del cerebro humano moderno siguen reflejando estos vínculos, de modo tal que los agentes sociales causantes de estrés evocan sentimientos pode-

rosos de amenaza e interrupción del sueño, pero los sentimientos de amor, cuidado y conexión social crean una sensación de seguridad y promueven el sueño. Esto es importante para considerar cómo la percepción de seguridad/amenaza y su capacidad para interrumpir el sueño cambian durante el desarrollo. El desarrollo de la vigilancia o de la percepción de una amenaza y el sistema de respuesta muestran un aumento significativo a lo largo de la pubertad quizá porque los adolescentes estaban preparándose físicamente para asumir roles adultos, con mayores exigencias en la apreciación de amenazas.

Otro aspecto que debe considerarse es el acortamiento del tiempo de sueño causado por la «sociedad de 24 horas». Debido a que los humanos modernos usan luz artificial para extender su período de vigilia y de actividad entrada la noche, se adhieren a un horario de sueño de una noche corta a lo largo del año durante la mayor parte de su vida. En estas circunstancias, los individuos se duermen poco después de acostarse y duermen sin interrupciones hasta que se levantan por la mañana. Este tipo de sueño, que tendemos a considerar nuestro único tipo normal de sueño, está altamente consolidado y es eficiente, y ocupa casi todo el período nocturno de descanso. No obstante, los humanos modernos probablemente obtengan menos que su cuota completa de sueño nocturno. En estado estacionario, en extensas noches artificiales, los voluntarios normales duermen un promedio de 8,25 horas por noche, que es más de lo que obtiene la mayoría de los humanos en la vida moderna. Este hallazgo plantea la posibilidad de que los humanos modernos estén privados de sueño y menos despiertos durante el día de lo que sería el caso de otro modo (Hobson y col., 2002; Pace-Schott y col., 2002).

A diferencia de lo que sucede con el hombre, el sueño en la mayoría de los otros animales es polifásico: exhibe múltiples ciclos por día. De hecho, la mayor parte de las personas probablemente considerarían anormal y poco deseable si el sueño ocurriera en ciclos polifásicos que alternan con períodos de vigilia tranquila. Sin embargo, los estudios del sueño con voluntarios en noches largas indican que el sueño humano también puede ser polifásico. Durante las noches largas, los períodos de descanso y de contemplación tranquilos muchas veces comienzan después de transiciones a la vigilia luego de períodos de sueño MOR (y sueños) particularmente intensos. Es tentador especular que, en épocas prehistóricas, este

arreglo proporcionaba un canal de comunicación entre los sueños y la vigilia que gradualmente se fue cerrando, a medida que los humanos fueron comprimiendo y consolidando su sueño. De ser así, esta alteración podría brindar una explicación fisiológica para la observación de que los humanos modernos al parecer han perdido contacto con la fuente de mitos y de fantasías.

Los procesos (de desarrollo) relacionados con la edad ejercen una fuerte influencia en la regulación del sueño

El sueño total disminuye de 14-16 horas/día en un recién nacido a aproximadamente 8 horas/noche a los 18 años (Fig. 7.4). Los niños de un año duermen 11-12 horas/noche y otras 2,5 horas en dos siestas durante el día, separadas. Para los 3 años, un niño promedio duerme 10,5 horas cada noche y una siesta de 1,5 horas.

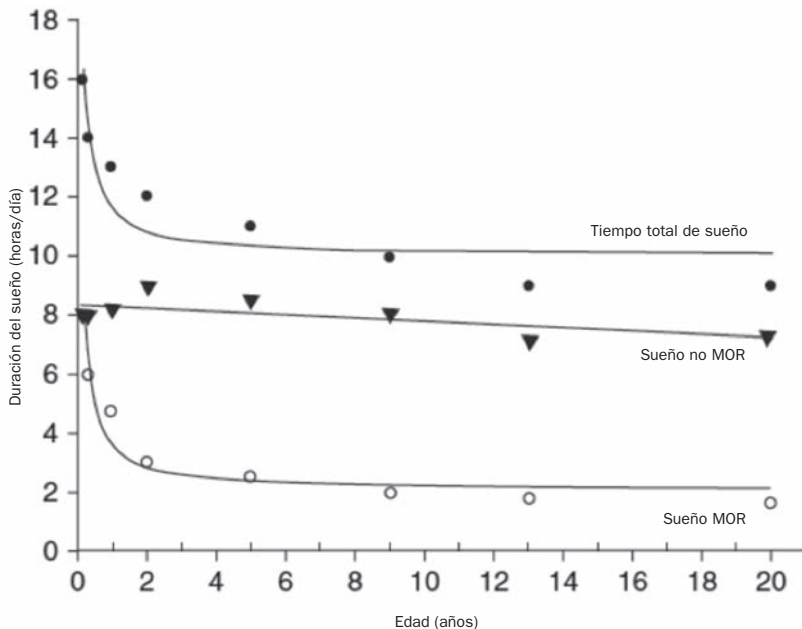


Figura 7.4 Duración del sueño total, sueño no MOR y sueño MOR desde el nacimiento hasta el final de la adolescencia.

Normalmente un niño abandona la siesta entre los 4 y los 5 años. También es importante hacer hincapié en el hecho de que existe una considerable variación individual en los requerimientos de sueño, así como también influencias culturales en la conducta respecto del sueño y de la siesta; por ejemplo, las siestas durante el día continúan en la adultez en las culturas latinoamericanas.

¿Cuáles son los cambios más importantes en el sueño durante la adolescencia? Los principales cambios encontrados son: (i) hay una disminución en la duración y la profundidad del sueño NMOR (etapas 3 y 4) y MOR, (ii) se desarrolla un patrón de sueño MOR más parecido al del adulto, (iii) hay aumentos de somnolencia diurna, (iv) hay un cambio en el patrón circadiano hacia una tendencia, más nocturna, a acostarse más tarde y a despertarse más tarde (Fig. 7.2). También hay una disminución en el umbral de activación desde la infancia y durante la adolescencia (Fukuda e Ishihara, 2001; Quine, 2001; Paavonen, Fjallberg, Steenari y Aronen, 2002; Sadeh, Gruber y Raviv, 2002). La maduración adolescente también está asociada con un acortamiento relativo del intervalo desde el inicio del sueño hasta el primer período MOR (latencia MOR más breve) y una disminución en la densidad del sueño MOR (índice de los movimientos oculares que ocurren dentro del sueño MOR).

En general, los adolescentes se las arreglan con menos horas de sueño (por lo menos durante la época escolar). Sin embargo, existen varias razones para creer que esta disminución ocurre independientemente de la biología. En estudios en adolescentes en ambientes naturales (cuando los adolescentes duermen menos que en las situaciones de laboratorio), con frecuencia se observan niveles muy elevados de somnolencia durante el día. En muchos casos, los niveles de somnolencia en estudiantes secundarios están cerca del umbral visto en trastornos del sueño, tales como la narcolepsia o la apnea del sueño. Las prácticas educativas flexibles y un modo de vida irregular se asociaron con la duración más corta del sueño y la menor capacidad atencional eficiente (Billon-Descarpentries, 1997). Por lo tanto, los errores educativos de los padres cuyo resultado es una mala distribución del tiempo de despertarse-dormirse nocturno y una deuda de sueño crónico, al parecer, son una causa de bajo rendimiento escolar.

Los cronogramas escolares también afectan los patrones de sueño de los adolescentes, ya que, en general, los obligan a levantarse más temprano, puesto que el día escolar comienza antes durante los años adolescentes (Carskadon y cols., 2004). Irónicamente, el

horario de entrada a la escuela es más temprano a medida que los niños crecen. Si bien la escuela comienza antes, los niños no pueden ajustar su horario de dormir en forma acorde, y esto podría traducirse en una privación del sueño (Dexter, Bijwadia, Schilling y Applebaugh, 2003; Sadeh y cols., 2003). Como consecuencia, están somnolientos durante la mañana y más alertas por la tarde, cuando las clases ya casi terminan (Andrade, Benedito-Silva y Menna-Barreto, 1992; Andrade, Benedito-Silva, Domenice, Arnhold y Menna-Barreto, 1993). El cambio de la fase circadiana también podría influir en el rendimiento escolar de los niños a través de una sincronía entre su hora del día preferida y la hora en la que se dictan las clases. De acuerdo con el efecto de sincronía, los adultos más jóvenes y los mayores rinden más en una serie de tareas cognitivas en su hora del día óptima que en su hora del día que no es óptima (que es diferente para los dos grupos). Por ejemplo, los adultos más jóvenes y los mayores se distraen menos en sus horas óptimas, su reconocimiento de la información recién aprendida es mejor en sus horas óptimas, y su control sobre respuestas fuertes, pero inapropiadas, es mejor en sus horas óptimas (Heuer, Spijkers, Kiesswetter y Schmidtke, 1998; Roberts y Kyllonen, 1999; Alapin y cols., 2000; Eliasson, Eliasson, King, Gould y Eliasson, 2002). Asimismo, y es de especial importancia para el aprendizaje en el aula, hay evidencia que muestra enormes diferencias en el rendimiento de la memoria en adultos más jóvenes y mayores examinados en horas óptimas frente a horas no óptimas.

Debido a que la preferencia de la hora del día de los niños cambia hacia la vespertinidad a medida que crecen, es probable que su funcionamiento cognitivo esté en su pico máximo más hacia la tarde que hacia la mañana. Por lo tanto, si clases importantes, tales como lectura y matemática, se enseñan a la mañana, los niños mayores en edad escolar aprenderán este material crítico en su hora del día menos preferida o no óptima, lo cual causará un menor rendimiento escolar del que podría encontrarse si las clases estuvieran más sincronizadas con los ritmos circadianos de activación (Roberts, Roberts y Chen, 2002). Es interesante que, en estudios recientes sobre los hábitos de sueño y el desempeño escolar en niños del primer ciclo de la escuela secundaria (Drake y cols., 2003), los participantes que informaron acerca de un bajo logro escolar, altos niveles de ausentismo, poco disfrute de la escuela, escaso tiempo de sueño total y enfermedades frecuentes informaron también acerca

de niveles significativamente más altos de somnolencia durante el día en comparación con niños con mejores resultados relacionados con la escuela. Giannotti y cols. examinaron la relación entre las preferencias circadianas, la regularidad del patrón de sueño, los problemas de sueño, la somnolencia diurna y el comportamiento diurno (Giannotti, Cortesi, Sebastiani y Ottaviano, 2002). La vespertinidad se asoció con irse a dormir más tarde y despertarse más tarde, en especial los fines de semana, menos tiempo en la cama durante la semana, más tiempo en la cama los fines de semana, horario irregular de sueño-vigilia, mal sueño subjetivo. Además, los del tipo de la tarde solían dormir siesta con más frecuencia durante los días de clase; se quejaron de sentir somnolencia diurna, informaron más problemas de atención, bajo rendimiento escolar y más lesiones, y estaban más molestos emocionalmente que los del otro cronotipo (Giannotti y cols., 2002).

Además del sueño inadecuado, un factor separado, pero relacionado, es el cansancio. El cansancio puede definirse como la sensación de fatiga que dificulta motivar o iniciar ciertos tipos de comportamiento, en particular aquellos asociados con objetivos a largo plazo o consecuencias negativas. El cansancio y los síntomas de fatiga pueden ser marcados en los adolescentes, incluso si permanecen despiertos; estos síntomas también pueden causar consecuencias a largo plazo. Además, el empleo de medio tiempo tiene un impacto significativo en los patrones de sueño de los adolescentes: los que trabajan más de 20 horas por semana duermen menos, se acuestan más tarde y están más somnolientos, y toman más café y alcohol (Dexter y cols., 2003; Shin y cols., 2003).

Otra área importante de los efectos de la privación del sueño se relaciona con el estado de ánimo (Carskadon y cols., 2004). La privación del sueño puede afectar la capacidad de llevar a cabo una tarea cognitiva y emocional al mismo tiempo. Si bien estos parecen efectos relativamente sutiles, la base de la competencia social, área de una enorme lucha para los adolescentes, requiere fluidez en el desempeño de dichas tareas. En particular, la capacidad de concentrarse en un objetivo o una consecuencia a largo plazo, a la vez que se regulan las reacciones emocionales en situaciones sociales, es precisamente el territorio que muchos adolescentes están luchando por atravesar en su vida cotidiana. Si la privación del sueño produce un deterioro en esta área, puede tener consecuencias muy significativas.

Observaciones finales

La conciencia, definida por el filósofo inglés John Locke como «la percepción de lo que pasa en la mente de un hombre», depende en gran medida de los niveles de alerta y, por lo tanto, exhibe importantes fluctuaciones circadianas. Tipos particulares de rendimiento tienen su punto máximo en diferentes momentos durante el ciclo circadiano, según la participación perceptual, el uso de la memoria y la cantidad de razonamiento lógico requerida. La realización de tareas que incluyan la destreza manual, el simple reconocimiento y el tiempo de reacción se compara con el ritmo circadiano de la temperatura corporal, que alcanza su máximo nivel cuando la temperatura corporal está más elevada, al final de la tarde. El razonamiento verbal llega a su punto máximo antes en el ciclo circadiano y puede ajustarse con más rapidez que otros tipos de desempeño a las interrupciones, tales como el cambio de horario o el trabajo por turnos. Además, cuando se les pide a los sujetos que indiquen su nivel de alerta, cansancio, felicidad u otros estados de ánimo en una escala visual a intervalos regulares a lo largo del día, emergen patrones circadianos coherentes.

Muchos aspectos del rendimiento humano declinan a los niveles mínimos a la noche, lo cual refleja no solo la influencia del marcapasos circadiano, sino también la falta de sueño. La privación del sueño, incluso por una noche, es uno de los factores de alteración más importantes de las funciones mental y física del ser humano. El reloj circadiano también lleva a un mínimo nocturno en muchos tipos de rendimiento. Por lo tanto, la privación del sueño combinada con la influencia del marcapasos circadiano puede reducir severamente el rendimiento por la noche. Estos factores tienen implicancias importantes para cualquier sistema educativo de nuestra «sociedad de 24 horas» que superpone una creciente exigencia de vigilia en nuestro diseño fisiológico en extremo inadecuado, incapaz de mantener niveles de alerta sin modificar, independientemente de la hora del día.

La transición a un horario de entrada a la escuela más temprano, junto con el retraso de la fase de la pubertad, afecta en gran medida la calidad del sueño de los adolescentes, su horario de sueño-vigilia y su comportamiento durante el día. La combinación del avance de la fase, las actividades o los empleos nocturnos y las exigencias de la escuela temprano por la mañana pueden restringir

en forma significativa las horas disponibles para dormir. Los estudios que existen sobre la comunidad y las escuelas que examinan la prevalencia de los trastornos del sueño en los jóvenes indican que los síntomas de insomnio y de hipersomnia son comunes. En efecto, en poblaciones no clínicas, se observó que el 20%-30% de los niños y adolescentes expresó quejas o dificultades relacionadas con el sueño, que se consideraron importantes.

Agradecimientos

El trabajo llevado a cabo en el laboratorio del autor fue respaldado en parte por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina; la Universidad de Buenos Aires; el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina; la Fundación Bunge y Born, Buenos Aires; y la Fundación Antorchas, Buenos Aires.

Referencias

- Alapin, I., Fichten, C. S., Libman, E., Creti, L., Bales, S. y Wright, J. (2000). «How is good and poor sleep in older adults and college students related to daytime sleepiness, fatigue, and ability to concentrate?», *J. Psychosom. Res.*, 49, 381-390.
- Andrade, M. M., Benedito-Silva, A. A., Domenice, S., Arnhold, I. J. y Menna-Barreto, L. (1993). «Sleep characteristics of adolescents: A longitudinal study», *J. Adolesc. Health*, 14, 401-406.
- Andrade, M. M., Benedito-Silva, A. A. y Menna-Barreto, L. (1992). «Correlations between morningness-eveningness character, sleep habits and temperature rhythm in adolescents», *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 25, 835-839.
- Asayama, K., Yamadera, H., Ito, T., Suzuki, H., Kudo, Y. y Endo, S. (2003). «Double blind study of melatonin effects on the sleep-wake rhythm, cognitive and non-cognitive functions in Alzheimer type dementia», *J. Nippon Med. Sch.*, 70, 334-341.
- Billon-Descarpentries, J. (1997). [«Influence of parental educational practices on the sleep and attentional performances in children»], *Arch. Pediatr.*, 4, 181-185.
- Cardinali, D. P. (1998). «The human body circadian: How the bio-

- logic clock influences sleep and emotion», *Ciencia e Cultura*, 50, 172-177.
- Cardinali, D. P., Brusco, L. I., Liberczuk, C. y Furio, A. M. (2002). «The use of melatonin in Alzheimer's disease», *Neuroendocrinol. Lett.*, Supl. 23, 1, 20-23.
- Cardinali, D. P., Jordá Catalá, J. y Sánchez Barceló, E. J. (1994). *Introducción a la Cronobiología. Fisiología de los Ritmos Biológicos*, Caja Cantabria, Santander, Editorial Universidad de Cantabria.
- Carskadon, M. A., Acebo, C. y Jenni, O. G. (2004). «Regulation of adolescent sleep: implications for behavior», *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1021, 276-291.
- Dexter, D., Bijwadia, J., Schilling, D. y Applebaugh, G. (2003). «Sleep, sleepiness and school start times: a preliminary study», *WMJ*, 102, 44-46.
- Drake, C., Nickel, C., Burduvali, E., Roth, T., Jefferson, C. y Pietro, B. (2003). «The pediatric daytime sleepiness scale (PDSS): sleep habits and school outcomes in middle-school children», *Sleep*, 26, 455-458.
- Eliasson, A., Eliasson, A., King, J., Gould, B. y Eliasson, A. (2002). «Association of sleep and academic performance», *Sleep Breath*, 6, 45-48.
- Fukuda, K. e Ishihara, K. (2001). «Age-related changes of sleeping pattern during adolescence», *Psychiatry Clin. Neurosci.*, 55, 231-232.
- Gais, S., Plihal, W., Wagner, U. y Born, J. (2000). «Early sleep triggers memory for early visual discrimination skills», *Nat. Neurosci.*, 3, 1335-1339.
- Giannotti, F., Cortesi, F., Sebastiani, T. y Ottaviano, S. (2002). «Circadian preference, sleep and daytime behaviour in adolescence», *J. Sleep Res.*, 11, 191-199.
- Hastings, M., Reddy, A. B. y Maywood, E. S. (2003). «A clockwork web: circadian timing in brain and periphery, in health and disease», *Nat. Rev. Neurosci.*, 4, 649-661.
- Heuer, H., Spijkers, W., Kiesswetter, E. y Schmidtke, V. (1998). «Effects of sleep loss, time of day, and extended mental work on implicit and explicit learning of sequences», *J. Exp. Psychol. Appl.*, 4, 139-162.
- Hobson, J. A. y Pace-Schott, E. F. (2002). «The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning», *Nat. Rev. Neurosci.*, 3, 679-693.

- Mazzoni, G., Gori, S., Formicola, G., Gneri, C., Massetani, R., Murri, L. y cols. (1999). «Word recall correlates with sleep cycles in elderly subjects», *J. Sleep Res.*, 8, 185-188.
- Murphy, P. J. y Campbell, S. S. (1996). «Physiology of the circadian system in animals and humans», *J. Clin. Neurophysiol.*, 13, 2-16.
- Paavonen, E. J., Fjallberg, M., Steenari, M. R. y Aronen, E. T. (2002). «Actigraph placement and sleep estimation in children», *Sleep*, 25, 235-237.
- Pace-Schott, E. F. y Hobson, J. A. (2002). «The neurobiology of sleep: genetics, cellular physiology and subcortical networks», *Nat. Rev. Neurosci.*, 3, 591-605.
- Peigneux, P., Laureys, S., Delbeuck, X. y Maquet, P. (2001). «Sleeping brain, learning brain. The role of sleep for memory systems», *Neuroreport*, 12, A111-A124.
- Quine, L. (2001). «Sleep problems in primary school children: comparison between mainstream and special school children», *Child Care Health Dev.*, 27, 201-221.
- Roberts, R. D. y Kyllonen, P. C. (1999). «Morningness-eveningness and intelligence: early to bed, early to rise will likely make you anything but wise!», *Pers. Individ. Dif.*, 27, 1123-1133.
- Roberts, R. E., Roberts, C. R. y Chen, I. G. (2002). «Impact of insomnia on future functioning of adolescents», *J. Psychosom. Res.*, 53, 561-569.
- Rusak, B. y Zucker, I. (1979). «Neural regulation of circadian rhythms», *Physiol. Rev.*, 59, 449-526.
- Sadeh, A., Gruber, R. y Raviv, A. (2002). «Sleep, neurobehavioral functioning, and behavior problems in school-age children», *Child Dev.*, 73, 405-417.
- (2003). «The effects of sleep restriction and extension on school-age children: what a difference an hour makes», *Child Dev.*, 74, 444-455.
- Shin, C., Kim, J., Lee, S., Ahn, Y. y Joo, S. (2003). «Sleep habits, excessive daytime sleepiness and school performance in high school students», *Psychiatry Clin. Neurosci.*, 57, 451-453.
- Skene, D. J. (2003). «Optimization of light and melatonin to phase-shift human circadian rhythms», *J. Neuroendocrinol.*, 15, 438-441.

Ciclos dinámicos de desarrollo cognitivo y cerebral: cómo medir el crecimiento de la mente, el cerebro y la educación

Kurt W. Fischer

Introducción

Desde el fundamental trabajo de Jean Piaget acerca de la relación entre el conocimiento y la biología general, los investigadores han empezado a entender los procesos neurocognitivos básicos en el devenir del desarrollo humano. En particular, modelos recientes de crecimiento dinámico iluminan los complejos cambios interrelacionados que tienen lugar durante el crecimiento del cerebro, el desarrollo cognitivo y el aprendizaje. El desarrollo neurocognitivo debe concebirse no como una escalera de sucesivos peldaños, sino como una compleja red de interacciones y de atractores, senderos convergentes y divergentes, ciclos anidados, estabilidades e inestabilidades, progresiones y regresiones, conjuntos de discontinuidades y niveles estables de rendimiento. Los ciclos de desarrollo cortical y los ciclos de rendimiento cognitivo parecen estar relacionados. En particular, la relación se vuelve más visible con un funcionamiento óptimo del sistema cognitivo, tal como cuando un buen maestro o un libro de texto respaldan el rendimiento de un estudiante. Una serie de discontinuidades en el crecimiento cognitivo óptimo definen una escala de desarrollo de diez niveles, que tiene muchas implicancias educativas potenciales. En términos más generales, los ciclos sistémicos de crecimiento de la cognición y del cerebro tienen muchas implicancias para la educación, que en ocasiones no son directas. Es esencial para el futuro de la educación que los docentes se involucren en la investigación neurocognitiva y que los neurocientíficos descubran el gran desafío teórico y práctico de trabajar en las escuelas.

Los compiladores

A la mayoría de los científicos y de los docentes les resulta obvio que el desarrollo cognitivo y el desarrollo del cerebro van de la mano, y la empresa de conectar la mente, el cerebro y la educación comienza con esta suposición, como es evidente en casi todos los capítulos de este libro. El conocimiento del desarrollo del cerebro está creciendo a un ritmo fenomenal (Coch, Fischer y Dawson, 2007; Dawson y Fischer, 1994), y el conocimiento del desarrollo y del aprendizaje cognitivos es extenso, profundo y aún se está construyendo (por ejemplo, Case, 1998; Fischer y Bidell, 1998; Fischer y Bidell, 2006; Piaget, 1983; Siegler, 1997). Sin embargo, la comprensión de cómo el desarrollo cognitivo y del cerebro se relacionan ha sido mínima. Muchas características del cerebro —número de neuronas y de sinapsis, masa cerebral, mielinización, actividad cerebral, etcétera— cambian sistemáticamente a medida que los niños crecen. En forma simultánea, se desarrollan las acciones, el habla, los conceptos, la capacidad de resolver problemas, las habilidades sociales, la motivación y las emociones de los niños. Todos estos diversos cambios están globalmente correlacionados, pero las correlaciones no son muy informativas, porque todo está cambiando en paralelo. Los científicos que buscan entender las relaciones entre el cerebro y el comportamiento, y los educadores que quieren usar la neurociencia cognitiva para mejorar la educación necesitan formas de encontrar y de analizar conexiones significativas entre los cambios en el cerebro y el comportamiento, sabiendo que las características en general aumentan (algunas, en general disminuyen) con la edad. A pesar de estas limitaciones del conocimiento científico, las expectativas públicas acerca de relacionar la ciencia del cerebro con la práctica educativa están yendo muy por delante de las realidades del conocimiento científico (capítulo de Bruer; Fischer, Immordino-Yang y Waber, 2007).

Sin embargo, están empezando a aparecer enfoques significativos que relacionan el desarrollo cerebral y el cognitivo. En un escenario prometedor, se han combinado las nuevas herramientas del análisis de los sistemas dinámicos con el descubrimiento de ciclos de crecimiento en el desarrollo cognitivo y cerebral para brindar una base para desplazarse más allá de las dificultades de analizar las relaciones del cerebro con el comportamiento. La teoría de los sistemas dinámicos ofrece herramientas para analizar patrones complejos de cambio en las personas, en contraste con las herramientas tradicionales que se enfocan en analizar los patrones promedio de

cambio para grupos, que allanan las interesantes complejidades del cambio individual (capítulo de Van Geert y Steenbeck). La investigación muestra que los individuos crecen en patrones complejos que no exhiben un cambio lineal, sino ciclos de altibajos (Dawson-Tunik, Commons, Wilson y Fischer, 2005; Fischer y Bidell, 2006; Molenaar, 2004). Estas discontinuidades y estos patrones complejos brindan herramientas valiosas para analizar el desarrollo del cerebro y del comportamiento porque los científicos pueden examinar las relaciones entre los patrones. Se está acumulando evidencia para los ciclos de crecimiento cerebral, los ciclos de desarrollo cognitivo y los ciclos de aprendizaje. Los tres ciclos parecen incluir un proceso común de crecimiento, y un resultado de la investigación sobre estos patrones de crecimiento es el descubrimiento de una regla general para el desarrollo y el aprendizaje que tiene muchos usos en la evaluación y la práctica educativas.

Ciclos de crecimiento y reglas para el cerebro y el comportamiento

En los organismos vivos, el crecimiento, en general, ocurre a través de ciclos. Un ejemplo perfecto es el crecimiento de la corteza, que desarrolla seis capas en un proceso cíclico de generación y migración de neuronas, tal como lo describió Rakic (1971; 1988). Por lo tanto, un solo proceso de crecimiento produce seis capas diferenciadas en las que las células para capas diferentes terminan teniendo funciones muy diferentes, aunque todas son creadas por el mismo proceso. El proceso comienza cuando la capa germinal de la zona ventricular del embrión desarrolla nuevas células en grandes cantidades y cada célula migra, a lo largo de una escalera creada por una célula glial, a su destino. Las primeras células en migrar se detienen en la primera capa de la corteza (llamada capa seis, porque es la sexta capa desde la parte superior de la corteza, aunque es la primera en el desarrollo del embrión). Una vez que esa capa se llena, las células siguen hasta un punto más alto y se convierten en la segunda capa que, a su vez, se llena. Las siguientes células luego se detienen en lo que se convierte en la tercera capa que, a su vez, se llena. Este proceso continúa hasta que se forman las seis capas de la corteza. De este modo, un proceso de crecimiento crea capas corticales que terminan con propiedades y funciones muy diferentes.

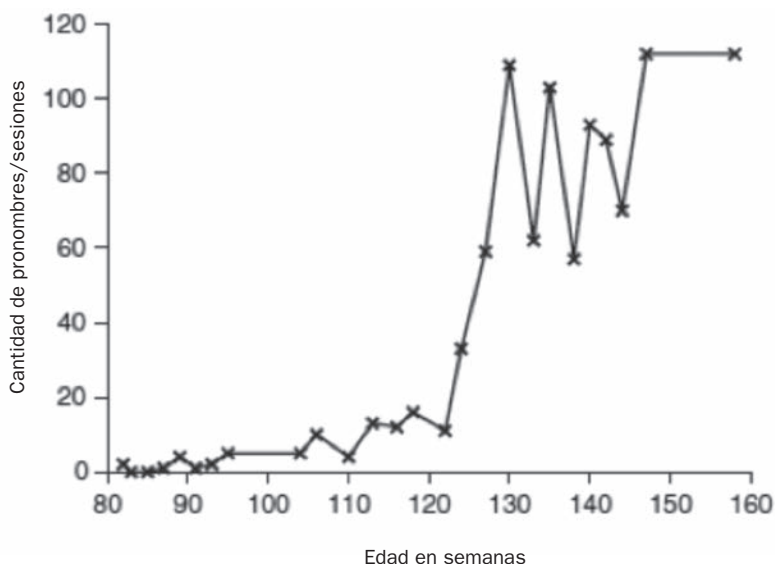
Dentro de una columna cortical, las seis capas se relacionan entre sí en forma jerárquica, y las capas inferiores (5 y 6 según la numeración convencional) desempeñan funciones más básicas, tal como encargarse de los estímulos o *inputs* y de las respuestas o *outputs* sensitivos y motores básicos, y las capas superiores (1 y 2) desempeñan funciones que combinan, integran o diferencian las señales de las inferiores.

Con el tiempo, en el desarrollo cerebral y cognitivo parecen ocurrir ciclos análogos de crecimiento, según la investigación aún joven sobre los patrones de crecimiento de la actividad cerebral y la evidencia más madura sobre el rendimiento cognitivo. Uno de los índices más simples del patrón cíclico es que el crecimiento tiene lugar con una serie de discontinuidades: avances repentinos o caídas en el caso más simple, tal como los avances bien documentados en el lenguaje en el segundo año (Resznick y Goldfield, 1992). En un estudio de producción espontánea del lenguaje en niños holandeses, Ruhland y Van Geert (1998) descubrieron que la mayoría de los niños mostraron saltos rápidos en el desempeño para categorías de palabras específicas aproximadamente a los 24 meses de edad, tal como el avance repentino producido por Tomas para el uso de pronombres personales, ilustrado en la Figura 8.1.

Este avance alrededor de los 24 meses incluye atravesar el *ciclo de crecimiento para el desarrollo cognitivo*, que pasa por una serie de avances en el desempeño que comienzan en la infancia temprana y continúan hasta después de los 20 años (Fischer y Bidell, 2006), como se muestra en la línea superior de la Figura 8.2. Los lactantes, niños, adolescentes y adultos jóvenes pasan por períodos en los que sus habilidades avanzan a gran velocidad, en especial en condiciones que respaldan un desempeño óptimo (línea superior). En un desempeño más ordinario, en el que no están forzando los límites de su capacidad, comúnmente muestran un crecimiento lineal o un cambio no sistemático (línea inferior). El gráfico presenta un resumen de los patrones de crecimiento para las habilidades abstractas avanzadas que se desarrollan durante la adolescencia y el inicio de la adultez (Fischer, Yan y Stewart, 2003).

Estos patrones de crecimiento complejos, combinados con métodos de la teoría de los sistemas dinámicos, brindan poderosas herramientas para usar en la investigación del desarrollo y la educación del cerebro, porque siguen una escala común a través de las áreas. Las habilidades en diferentes áreas demuestran discontinuidades a

lo largo de la misma escala (Dawson-Tunik y cols., 2005; Fischer y Bidell, 2006). Los resultados son especialmente fuertes y claros para el desarrollo y el aprendizaje cognitivos, donde la investigación ha demostrado claramente una única escala común para la complejidad de las habilidades a través de diversos contenidos y con diferentes métodos para evaluar los patrones de cambio. El desarrollo cognitivo se mueve a lo largo de esta escala sin importar el área, igual que la temperatura sigue una escala ya sea que el objeto medido sea un niño enfermo, un glaciar, una olla de agua hirviendo, un volcán o la superficie del sol. La escala de complejidad proporciona una regla útil para las evaluaciones educativas, que se aplica para áreas diferentes, para aprendices y para docentes, para pruebas y para planes de estudio (Bidell y Fischer, 1992; Dawson-Tunik y Stein, 2004). Ha demostrado ser útil incluso para hacer un seguimiento de los altibajos al aprender una tarea específica, que comúnmente se llama microdesarrollo (Granott, Fischer y Parziale, 2002).



Fuente: Datos de Ruhland y Van Geert, 1998.

Figura 8.1 Avance repentino de desarrollo en el uso de pronombres personales por parte de Tomas, un niño holandés.

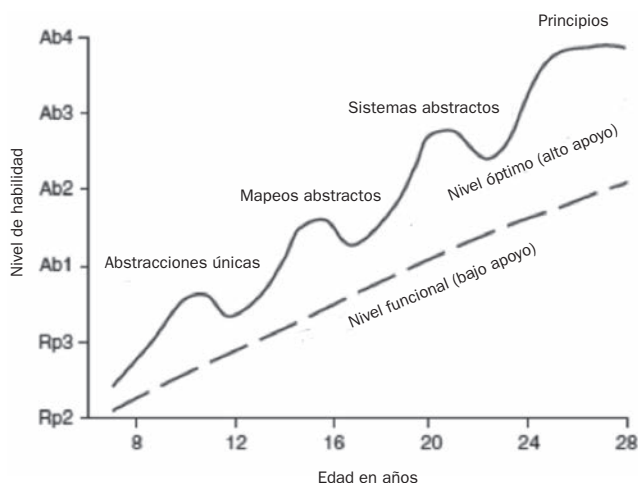


Figura 8.2 Avances repentinos cíclicos para el desarrollo cognitivo en condiciones óptimas.

Entender los patrones de crecimiento que hay detrás de la escala requiere primero abordar un concepto erróneo común acerca del desarrollo. La mayoría de las personas asume inconscientemente que el desarrollo supone una progresión a lo largo de una escalera de un peldaño al siguiente. Sin embargo, los niños y también los adultos no se desarrollan a lo largo de una escalera, sino a lo largo de una red de muchos hilos. La escala de complejidad común a través de las áreas no significa que el desarrollo ocurre en etapas escalonadas. La Figura 8.3 ilustra la red para tres áreas de desarrollo en adolescentes y en adultos jóvenes: matemática, el *self* en las relaciones y el juicio reflexivo (Fischer y cols., 2003). Un individuo construye habilidades separadas para cada área, incluidos varios hilos diferentes dentro de cada uno. Todos los hilos se mueven a lo largo de la misma escala de complejidad, pero las habilidades de un hilo son independientes de las del otro. En ocasiones, los hilos se diferencian y se convierten en hilos nuevos y separados, y en otras, se combinan para formar un hilo nuevo e integrado. Para algunos propósitos, las habilidades de áreas diferentes, tales como el juicio reflexivo y las concepciones del *self*, pueden tratarse en forma separada, pero a medida que avanza el desarrollo, las personas muchas veces combinan los hilos de áreas diferentes y conectan, por ejemplo, conceptos del

self como estudiante con conceptos acerca de cómo saben que algo es verdad (las bases del conocimiento: juicio reflexivo). En cualquier caso, la misma escala de complejidad caracteriza el desarrollo a lo largo de cada hilo, aunque los hilos supongan habilidades separadas. La misma regla mide la complejidad, pero esta regla común no implica que todas las habilidades sean las mismas, como tampoco una lectura común de la temperatura significa que una persona con una temperatura dada contenga la misma energía térmica que un día de verano con esa temperatura.

El ciclo de crecimiento de la construcción de habilidades aparece en la red como *grupos de discontinuidades*: ángulos, uniones y separaciones de líneas dentro de los recuadros que marcan las zonas en las que surgen tres nuevos niveles óptimos. Estos grupos capturan cambios para el desempeño óptimo, mientras que el desempeño normal, no óptimo, tiene lugar en puntos inferiores a lo largo de los hilos. Es decir, la misma persona en la misma área o hilo muestra un nivel de desarrollo diferente según si está desempeñándose a un nivel óptimo o funcional (como ilustra la Figura 8.2). Las personas no actúan en forma coherente en un nivel, incluso para un área familiar, tal como la concepción del *self*. Sus habilidades varían en complejidad de minuto a minuto, según el apoyo contextual, la motivación, la fatiga y otros factores.

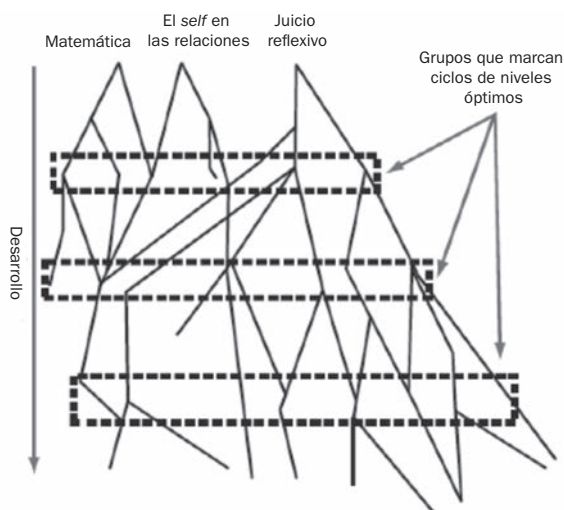


Figura 8.3 Red de desarrollo de muchos hilos con grupos de discontinuidades para tres niveles de habilidad.

Ciclos de desarrollo cognitivo

El desarrollo cognitivo se mueve a través de diez niveles entre los 4 meses de vida y el inicio de la adultez. Los niveles desde la infancia hasta la adultez, que son más pertinentes para la educación, se hallan resumidos en la Tabla 8.1. Entre la evidencia más simple y más convincente para los niveles están los avances repentinos y caídas en el desempeño que ocurren para el desempeño óptimo a edades específicas. La investigación en aritmética, conceptos del *self*, juicio reflexivo, razonamiento moral, clasificación, conservación y muchas otras tareas muestran estos avances repentinos y caídas que marcan el inicio de capacidades para construir habilidades en cada uno de los niveles.

En un estudio de conceptos para operaciones matemáticas, los adolescentes demostraron avances favorables en condiciones óptimas para tres niveles: abstracciones sencillas, mapeos abstractos y sistemas abstractos (Fischer, Kenny y Pipp, 1990). Los estudiantes de entre 9 y 20 años de diferentes escuelas, así como también de una universidad de una ciudad del Medio Oeste de los Estados Unidos realizaron un conjunto de problemas aritméticos, tales como $7 + 7 + 7 = 21$; $3 \times 7 = 21$; $5 + 9 = 14$ y $14 - 9 = 5$. Luego respondieron preguntas que requerían que explicaran las operaciones de suma, resta, multiplicación y división, y después las relaciones entre los pares de operaciones, tales como suma y multiplicación, o suma y resta. ¿Qué es la multiplicación y cómo encajan los problemas que se calcularon en la definición de multiplicación? ¿Cómo se relaciona la multiplicación con la suma y cómo incluyen los problemas esa relación? Los estudiantes primero hicieron los cálculos y ofrecieron las explicaciones sin recibir mucha ayuda, simplemente respondiendo las preguntas solos. Luego, se les ofrecieron buenas respuestas prototípicas a las preguntas acerca de las operaciones (mucha ayuda), que debieron explicar en sus propios términos. Al cabo de la sesión, se les informó que regresarían en dos semanas para volver a hacer los problemas y que tendrían que pensar en las preguntas. Cuando regresaron, volvieron a hacer los problemas y contestaron las preguntas primero con poca ayuda y luego con mucha ayuda.

Tabla 8.1 Niveles de desarrollo durante los años escolares: óptimo y funcional

<i>Nivel</i>	<i>Óptimo</i>	<i>Funcional*</i>
Rp1 Representaciones únicas	2 años	De 2 a 5 años
Rp2 Mapeos representativos	4	De 4 a 8
Rp3 Sistemas representativos	6	De 7 a 12
Rp4/Ab1 Abstracciones únicas	10	De 12 a 20
Ab2 Mapeos abstractos	15	De 17 a 30
Ab3 Sistemas abstractos	20	De 23 a 40, o nunca para muchos campos
Ab4/P Principios únicos	25	De 30 a 45, o nunca para muchos campos

*Las edades para los niveles funcionales varían en gran medida y son estimaciones aproximadas, sobre la base de la investigación de Dawson, Fischer, Kitchener, King, Kohlberg, Rest y otros. Los niveles están altamente relacionados con la educación.

Los estudiantes mostraron saltos drásticos en el desempeño en condiciones óptimas a edades específicas, tal como lo muestra la Figura 8.4 para los mapeos que relacionan pares de operaciones aritméticas. Las avances fueron en especial abruptos en la segunda sesión, dos semanas después de la primera, cuando los estudiantes no solo tuvieron mucha ayuda, sino también días para practicar y pensar en las preguntas. Se les pidió a los estudiantes que explicaran las relaciones entre suma y resta, suma y multiplicación, multiplicación y división, y resta y división (dos versiones de cada pregunta para un total de ocho tareas). Cuando solo se les preguntó, sin ninguna ayuda ni práctica (Sesión 1, sin ayuda), mostraron niveles muy bajos de desempeño, casi cero hasta los 16 años y casi el 32% de los resultados fueron correctos a los 20 años. Sin embargo, cuando se les dio ayuda (Sesión 1, con ayuda), su desempeño exhibió un gran salto entre los 15 y los 17 años. La posibilidad de pensar en los problemas durante dos semanas llevó a un avance aún más abrupto, del 6% a los 15 años al 88% a los 16 años (Sesión 2, con ayuda). Este estudio fue la primera prueba de un avance anticipado únicamente a raíz de la teoría de las habilidades dinámicas sin evidencia previa, y la Figura 8.4 muestra que el hallazgo fue sólido e inequívoco.

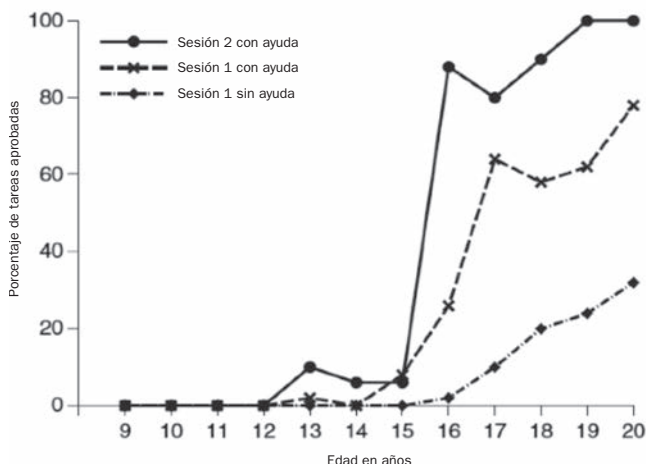


Figura 8.4 Avances repentinos para mapeos de operaciones aritméticas.

Además de los avances repentinos en los mapeos, el gráfico también muestra otro fenómeno del desarrollo con una fuerte importancia educativa: *consolidación en un nivel posterior*. Una nueva clase de habilidad, tal como las relaciones de las operaciones aritméticas o los conceptos para determinar la verdad, surge en un nivel; sin embargo, solo se consolida y produce un desempeño coherente en un nivel posterior varios años después, cuando los diversos componentes pueden coordinarse e interconectarse. En el estudio aritmético, las dos curvas que muestran avances repentinos se nivelaron durante algunos años después de los 16 y luego volvieron a aumentar hasta lograr un desempeño aún mejor aproximadamente a los 20 años. Este segundo avance en general ocurre en el desarrollo cognitivo y refleja la aparición del siguiente nivel, que en este caso son los sistemas abstractos (Ab3). Cuando surge un nuevo nivel, el desempeño salta por encima de cero, pero en general salta a un desempeño mucho menos que perfecto. Por ejemplo, con el juicio reflexivo (que explica las bases del conocimiento en dilemas complejos), el desempeño de los estudiantes saltó a solo alrededor del 50% de resultados correctos con la primera aparición de un nivel (Kitchener, Lynch, Fischer y Wood, 1993). Solo cinco años más tarde, con la aparición del siguiente nivel, el desempeño se acercó al 100%.

Las series de discontinuidades en el crecimiento cognitivo definen una *escala de desarrollo* de diez niveles: tres niveles de ac-

ciones sensoriomotoras más los siete niveles incluidos en la Tabla 8.1. Además, un conjunto diferente de métodos ha producido una evidencia independiente de la misma escala de siete niveles de la Tabla 8.1. Theo Dawson (Dawson y Wilson, 2004; Dawson-Tunik y cols., 2005) fue pionero en esta investigación y usó el análisis de Rasch para clasificar la dificultad de los ítems en conjuntos extensos de datos sobre la base de entrevistas, pruebas estandarizadas, ensayos y otros materiales escritos. La clasificación de Rasch detectó exactamente la misma escala de siete niveles en estos conjuntos de datos, lo cual demostró la agrupación de ítems por nivel de complejidad y brechas a lo largo de la escala de complejidad entre los grupos. Esta agrupación se mantiene incluso para los adultos, en los que la edad no es un factor en el ordenamiento de los ítems.

Los niveles sucesivos que se desarrollan, tal como se muestra en la Tabla 8.1, indican una clase de ciclo de crecimiento, una agrupación recurrente de avances repentinos en el desempeño con la aparición de cada nuevo nivel cognitivo. Análogos al ciclo de crecimiento que produce capas sucesivas de corteza a través del proceso común de generación y migración de neuronas, los niveles cognitivos se construyen a través del tiempo sobre la base de un proceso de crecimiento común y producen una estructura de habilidades cualitativamente nueva en cada nivel.

Dentro de estos niveles, también aparece una segunda clase de ciclo de crecimiento, un patrón repetitivo de tipos de coordinación de componentes que agrupa los niveles en lo que se llaman *estratos*. Este ciclo empezó a ser evidente en la investigación cuando los codificadores cometieron errores comunes que mezclaron, por ejemplo, los relatos de roles concretos simples de un niño de 5 años con los relatos más abstractos de un adolescente de 15 (Fischer y Elmendorf, 1986). Los niños de 5 años refieren roles de madre con hijo o de doctor con paciente, como cuando cuentan historias con interacciones estándares específicas entre madre e hijo. Los adolescentes de 15 años, en cambio, refieren roles amplios y abstractos de madre con hijo o de doctor con paciente. Describen los roles de la madre y del hijo en la sociedad, por ejemplo, en lugar de limitarse a una interacción específica y prototípica entra la madre y el hijo. Esta combinación de similitud y de diferencia refleja un ciclo repetitivo de niveles de habilidad, un estrato.

En general, el desarrollo se mueve a través de por lo menos tres ciclos repetitivos, desde la infancia temprana hasta la adultez. En cada ciclo o estrato, un niño o un adulto primero controla una

sola unidad de comportamiento: una sola acción, representación o abstracción para los estratos sensoriomotores, representativos y abstractos, respectivamente (Fischer, 1980; Fischer y Bidell, 2006). Luego, la persona relaciona por lo menos dos de estas unidades y forma un mapeo de acciones, representaciones o abstracciones. Después, la persona coordina por lo menos dos mapeos y forma un sistema. Finalmente, con el cuarto nivel de un estrato, la persona integra por lo menos dos sistemas y forma un sistema de sistemas, lo cual genera una nueva clase de unidad: los sistemas de acción generan representaciones únicas. Los sistemas representativos generan abstracciones únicas. Los sistemas abstractos generan principios únicos. (No hay evidencia, hasta la fecha, de la aparición de nuevos niveles más allá de los principios únicos). La Figura 8.5 ilustra este ciclo de los estratos representativos y abstractos con la metáfora de bloques para armar, en la que los bloques simples para las representaciones con el tiempo crean una nueva clase de bloques para armar más complejos para iniciar la capacidad de pensar de modo abstracto. Sospecho que los ciclos de crecimiento de esta clase son dominantes en el desarrollo cognitivo y cerebral, y propondré varios ciclos para el desarrollo cerebral que, por hipótesis, están relacionados con estos ciclos de desarrollo cognitivo.

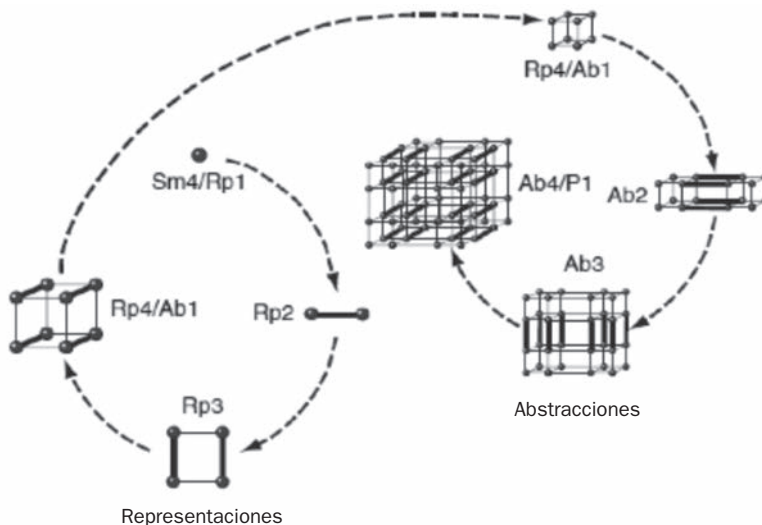


Figura 8.5 Ciclos de desarrollo para estratos de representaciones y de abstracciones.

Ciclos de desarrollo cortical

La mayor parte de la investigación sobre la estructura y el desarrollo del cerebro se ha concentrado en la anatomía y la fisiología locales y microscópicas, tal como la forma en que funcionan las neuronas y las sinapsis. Para hacer una conexión con la educación, el cuadro amplio de cómo el cerebro funciona y cambia con el desarrollo es obviamente importante. Si bien la investigación sobre el sistema cerebral ha sido relativamente escasa, está creciendo con rapidez, y existen suficientes hallazgos para establecer algunos hechos clave acerca del desarrollo del cerebro y para construir modelos iniciales de ciclos de crecimiento cerebral (Fischer y Rose, 1994).

El primer hecho establecido acerca del desarrollo del cerebro —del que muchos científicos y educadores no son conscientes— es que el cerebro y sus partes en general crecen en ciclos repentinos, igual que otros sistemas orgánicos (Blinkov y Glezer, 1968; Fischer y Rose, 1994; Lampl, Veldhuis y Johnson, 1992; Noonan, Farnum, Leiferman, Lampl, Markel y Wilsman, 2004; Thatcher, 1994). Las suaves curvas de crecimiento que aparecen en los gráficos pediátricos solo funcionan para la media de muchos niños. Cada niño crece con marchas y contramarchas.

Estas discontinuidades son evidentes en muchas medidas diferentes de anatomía y actividad cerebral, incluido el grosor de la corteza, la densidad sináptica, la actividad eléctrica cortical y la conectividad cortical. Una de las características más simples que muestra este patrón de altibajos es la energía en el electroencefalograma (EEG), que se mide calculando el área bajo las curvas generadas por la actividad eléctrica. En un estudio clásico, Matousek y Petersén (1973) midieron el EEG de personas de entre 1 y 21 años en Suecia. La energía relativa (la energía de una banda de frecuencia de una región cortical dividida por la energía de todas las bandas de esa región) mostró curvas de crecimiento altamente sistemáticas, como muestra la Figura 8.6 para la banda alfa medida en la región occipitoparietal. El crecimiento avanza en forma constante hacia arriba, pero hay ciclos repentinos recurrentes (marcados por los puntos negros en la Figura 8.6), mesetas y leves caídas, que recuerdan a las curvas de crecimiento del desarrollo del juicio aritmético y reflexivo, y otras habilidades cognitivas (Figuras 1, 2 y 4). (Adviértase que para algunas bandas de frecuencia [notablemente theta y delta], las curvas de crecimiento bajan en forma

sistemática y se mueven en marchas y contramarchas similares. Asimismo, la forma de las curvas de crecimiento varía según la región cortical; por ejemplo, los avances repentinos durante la adolescencia son mucho más fuertes en la región prefrontal que en la región occipital [Hudspeth y Pribram, 1992]).

Cabe notar que las edades de los aumentos repentinos de energía en el EEG corresponden íntimamente a las edades de los avances cognitivos, como resulta evidente en las comparaciones de la Figura 8.6 y de la Tabla 8.1. La correspondencia es tan cercana que sugiere un vínculo entre los dos procesos de crecimiento dinámicos. Este hallazgo primero inspiró la forma simple de la *hipótesis del crecimiento cerebral*: que los aumentos repentinos del crecimiento cortical reflejan la aparición de nuevos niveles de habilidades. No obstante, la mayoría de los estudios que muestran estos aumentos en el desarrollo cerebral o el cognitivo miden solo uno de ellos —el cerebro o la cognición—, no ambos, lo cual significa que existen pocos datos para probar si los dos, de hecho, se relacionan en los individuos en desarrollo. Por fortuna, un pequeño número de estudios miden tanto el desarrollo cerebral como el cognitivo y respaldan la hipótesis del crecimiento cerebral (Bell y Fox, 1994; Bell y Fox, 1996; Stauder, 1999; Van der Molen y Molenaar, 1994), pero está claro que es necesario investigar más para probar la correspondencia por completo.

Estos fenómenos sugieren un simple modelo de crecimiento de aumentos repentinos sucesivos correlacionados en la actividad cortical y la capacidad cognitiva, pero plantean preguntas acerca de la naturaleza de las reorganizaciones cerebrales con cada aumento, así como también la relación con las reorganizaciones cognitivas de los ciclos de crecimiento incluidos en la Figura 8.5. Mis colegas y yo hemos creado un modelo de crecimiento de redes corticales —la hipótesis del crecimiento en red— sobre la base de investigación existente, en especial los hallazgos de Thatcher (Hanlon, Thatcher y Cline, 1999; Thatcher, 1992, 1994), Matousek y Petersén (1973), Hudspeth y Pribram (1990, 1992) y Somsen (Somsen, Van 't Klooster, Van der Molen, Van Leeuwen y Licht, 1997). Además de la energía del EEG, las otras medidas más importantes de estos hallazgos incluyen la coherencia del EEG, la correlación entre los patrones de las ondas eléctricas en dos regiones. Los patrones de ondas correlacionados indican una conexión activa entre dos regiones. Los patrones de onda no correlacionados indican que no existe una conexión activa.

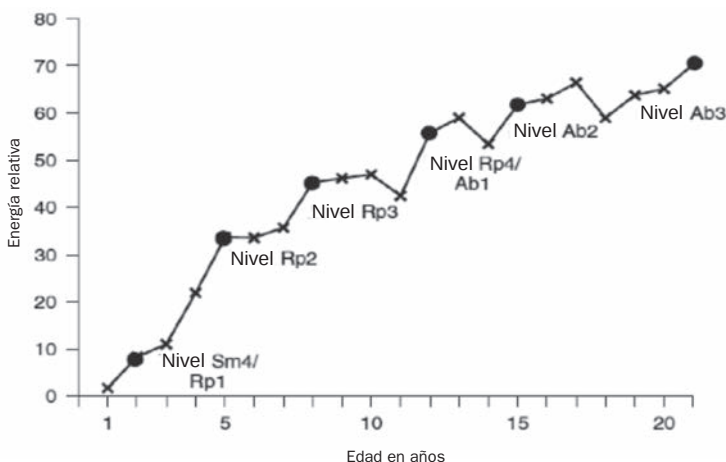


Figura 8.6 Desarrollo de la energía relativa en un EEG de onda alfa en el área occipitoparietal.

La explicación del modelo de red neuronal requiere describir la disposición general de las áreas corticales evaluadas por un EEG y otras técnicas de imágenes cerebrales. La Figura 8.7 incluye un esquema del cerebro visto desde arriba, con la nariz que marca el frente de la cabeza y el área gris que indica la corteza prefrontal, que desempeña una función especialmente importante en las redes corticales. Las regiones de la corteza reciben nombres estándar incluidos en el diagrama: hemisferios izquierdo y derecho, y dentro de cada hemisferio, las áreas llamadas prefrontal (F), central (C), temporal (T), parietal (P) y occipital (O). Las fibras nerviosas (axones) conectan partes de la corteza aun a través de largas distancias, como las conexiones prefrontales-occipitales marcadas por las flechas largas. Las conexiones más cortas también son importantes en las redes neuronales, como las conexiones prefrontales-temporales marcadas por las flechas más cortas y también las conexiones dentro de una región cortical, como las conexiones prefrontales-prefrontales (que no aparecen). La evidencia indica que la gran mayoría de las conexiones de redes activas ocurren dentro de un hemisferio, tal como lo indican las flechas.

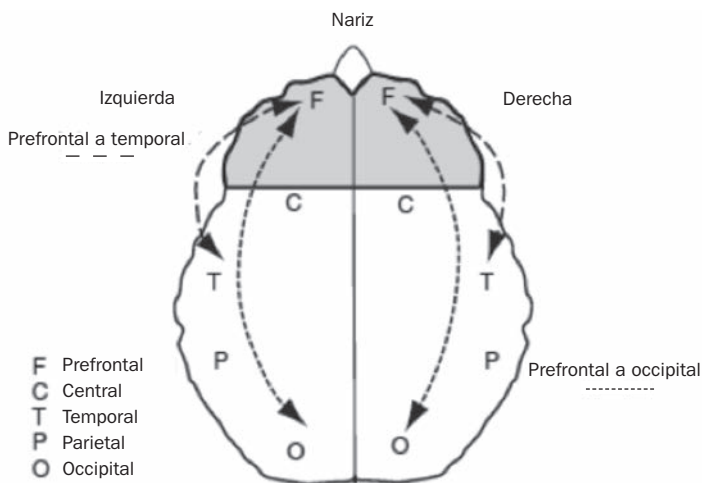


Figura 8.7 Vista superior de la corteza que ilustra algunas conexiones en red.

Según la *hipótesis del crecimiento en red*, los cambios en la energía incluidos en la Figura 8.6 surgen de los cambios en el desarrollo de las redes neuronales del cerebro, desarrollo que ocurre a través de un proceso cíclico de reconectar y reajustar las redes. Este proceso de crecimiento se mueve alrededor de la corteza sistemáticamente, de un modo similar al sugerido por Thatcher (Hanlon y cols., 1999; Thatcher, 1994) e ilustrado en la Figura 8.8 para los niveles cognitivos Rp3 y Ab1 que surgen alrededor de entre los 6 y los 10 años. La corteza prefrontal va primero, puesto que la evidencia empírica indica que la gran mayoría de los cambios sistemáticos que ocurren con la edad en las redes incluyen conexiones entre la corteza prefrontal y otras regiones. Los datos de Thatcher sugieren que el crecimiento domina en una parte de la corteza en un momento dado, pero sin duda también ocurre de una manera menos notoria en otros sitios. Asimismo, el diagrama representa el patrón normativo planteado como una hipótesis, pero es probable que distintas personas muestren distintos patrones en el ciclo de crecimiento. La investigación claramente muestra, por ejemplo, diferencias entre los hombres y las mujeres (Hanlon y cols., 1999).

En la parte superior del diagrama, las conexiones entre el frente y la parte posterior (prefrontal-occipital) crecen con mayor fuer-

za que otras conexiones, pues el nivel de sistemas representativos Rp3 comienza a desarrollarse. Gradualmente, a lo largo de varios años, el área de mayor crecimiento de las conexiones se mueve alrededor de la corteza, comenzando con el hemisferio derecho, donde se vuelve más local con el tiempo, y ajusta las conexiones más cortas. A mitad de camino a lo largo del ciclo, en la parte inferior del diagrama, el área de mayor crecimiento se mueve hacia la corteza prefrontal, a medida que el crecimiento de las conexiones locales que hay allí predomina. Luego, se desplaza al hemisferio izquierdo, comenzando en forma más local y moviéndose gradualmente hacia conexiones más extensas hasta que regresa a las conexiones más extensas, frontales-occipitales. Aquí comienza el proceso otra vez, a medida que el nivel de abstracciones únicas Ab1 empieza a desarrollarse. Con el tiempo, el ciclo se repite y reestructura la red para la capacidad de abstracciones únicas, hasta que se completa, y el siguiente nivel comienza: mapeos abstractos Ab2.

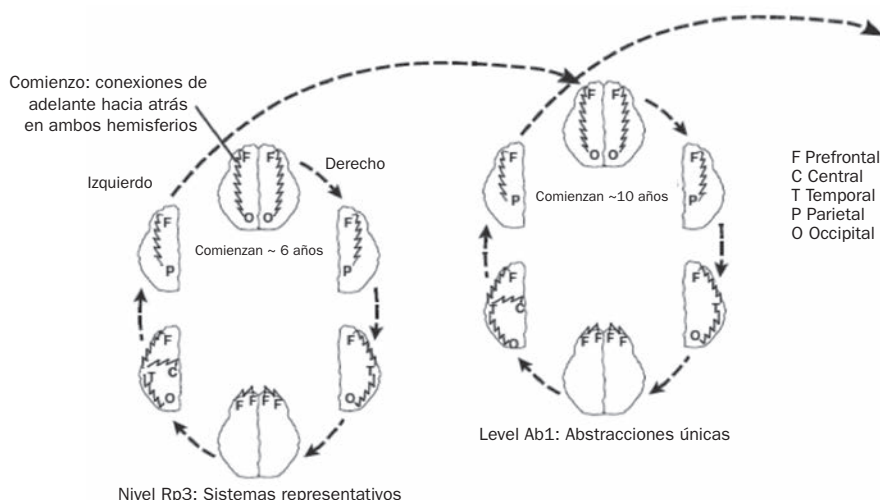


Figura 8.8 Ciclo de redes corticales para dos niveles cognitivos sucesivos.

Según la hipótesis, el ciclo de las redes corresponde a períodos en los que ocurren tipos particulares de cambios en el aprendizaje y el desarrollo, tales como avances repentinos en una habilidad ma-

yor. En dos estudios, Martha Ann Bell ha mostrado exactamente dicha relación: altibajos en la coherencia para regiones corticales específicas en relación con el crecimiento de habilidades mayores en la infancia (Bell, 1998; Bell y Fox, 1996). En su ambicioso estudio del inicio del ganeo, los lactantes que empezaban a gatear exhibían una alta coherencia al conectar las regiones frontal, occipital y parietal, en especial en el hemisferio derecho. A medida que los niños se volvían gateadores habilidosos, la coherencia disminuía. De modo similar, en un estudio de caso, un lactante mostraba una elevada coherencia frontotemporal, en especial en el hemisferio izquierdo, cuando se concentraba en balbucear para producir muchos sonidos parecidos a sílabas. La región temporal izquierda desempeña una función importante en el lenguaje en la mayoría de los niños mayores y en los adultos.

Para la minoría de las personas que usan el hemisferio derecho con mayor prominencia para el lenguaje, el patrón de crecimiento de la coherencia debería ser diferente, por supuesto. De la misma manera, en general, las diferencias individuales en las habilidades y los patrones de aprendizaje con la edad deberían corresponderse con las diferencias en los ciclos, sobre la base de la hipótesis del crecimiento en red. Así como los lactantes que comienzan a gatear tarde muestran un avance tardío en la coherencia frontooccipital y frontoparietal, los niños que desarrollan el pensamiento abstracto (Ab1 y más) en forma tardía o tardan en aprender a leer o de pronto comienzan a trabajar mucho para aprender un deporte deberían mostrar cambios paralelos en el crecimiento de la coherencia en regiones particulares.

Para el desarrollo cognitivo, el ciclo que produce niveles cognitivos está anidado dentro del ciclo más amplio para estratos (Figura 8.5). De la misma manera, por hipótesis, el ciclo de crecimiento de las redes que se muestra en la Figura 8.8 está anidado dentro de un ciclo más grande de crecimiento de energía, coherencia y otras características cerebrales que se relacionan con los estratos: la *hipótesis de la red anidada*. Por ejemplo, la energía prefrontal parece aumentar cuando surge un nuevo estrato de acuerdo con los análisis de la energía del EEG de Hudspeth y Pribram (1990, 1992). Asimismo, y de acuerdo con la evidencia hasta la fecha, los mayores aumentos de energía se mueven alrededor de la corteza en forma sistemática. Además, los patrones de oscilación de la coherencia para conexiones corticales específicas cambian de acuerdo con el movimiento hacia un nuevo ciclo de la red cortical (Thatcher,

1994). Esto se supone, puesto que cambios aún no especificados en las conexiones de las redes y otras propiedades del cerebro coocurren con los cambios mayores.

Según la hipótesis de la red anidada, la mayor energía en regiones corticales específicas cambia en forma sistemática a medida que los ciclos de la red cortical cambian a través de un estrato de niveles, como se muestra en la Figura 8.9. Nótese que el ciclo de la red cortical está anidado dentro del ciclo de máxima energía del diagrama. La máxima energía comienza en la corteza prefrontal y luego, gradualmente, se desplaza alrededor de la corteza a lo largo de extensos períodos de tiempo, a medida que los niños desarrollan nuevos niveles. El modelo de la Figura 8.9 encaja de modo razonable con los pocos datos disponibles: el crecimiento de la máxima energía se mueve en forma gradual de la región prefrontal a la occipital, parietal, central, temporal, y luego vuelve a la central, parietal, occipital y prefrontal. Una hipótesis razonable es que los primeros picos (lado derecho del diagrama) están concentrados en el hemisferio derecho, y los más tardíos, en el hemisferio izquierdo; sin embargo, la mayor parte de los datos publicados no contienen la información para probar esta especificación. Este ciclo anidado, como el ciclo de crecimiento en red de la Figura 8.8, supuestamente también corresponde a patrones conductuales en particular, tales como concentrarse en algún campo de habilidad o cuestión social-emocional.

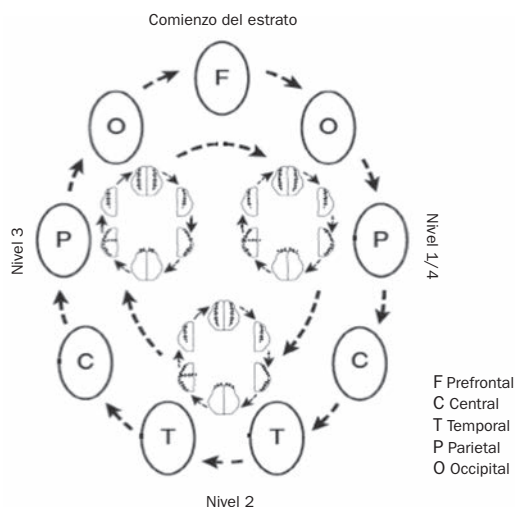


Figura 8.9 Ciclo de máxima energía por estrato, con ciclos de red anidados.

Ciclos de aprendizaje: crecimiento inverso y microdesarrollo

La escala de habilidades y los patrones de crecimiento dinámico que la acompañan crean varias avenidas para la investigación de la mente, el cerebro y la educación. No solo hacen posible la investigación que relaciona el cambio cognitivo con el desarrollo del cerebro, sino que también brindan una escala para medir el aprendizaje, la enseñanza, los planes de estudio y otros desempeños y productos cognitivos, escala que tiene usos amplios en la valoración, la evaluación y la práctica educativas (Dawson-Tunik y Stein, 2004; Schwartz y Fischer, 2005). Para ilustrar esta gama de usos, me concentraré en el análisis del aprendizaje en el aula como microdesarrollo: crecimiento de habilidad en períodos de tiempo relacionados con la escuela, tales como minutos, horas, días y semanas durante los cuales se supone que los estudiantes aprenden.

Cuando se analiza en términos de niveles de habilidad construida, el desempeño de los estudiantes muestra cambios dinámicos, con muchos altibajos. Estos patrones de cambio reflejan un proceso cíclico de construcción de habilidades, en el que las características de la tarea interactúan con el nivel de pericia del estudiante en el área, entre otras cosas. Los patrones también demuestran que la construcción del conocimiento general (a diferencia de aprender «hechos» específicos) es lenta y difícil. Mucha investigación muestra que los tipos de conocimiento enseñados en muchas escuelas secundarias y en cursos preuniversitarios —causas de la Guerra Civil Norteamericana, el concepto de la energía en física, el análisis de la evidencia de la evolución, escribir un ensayo convincente— requieren más que un semestre o un año para que se los domine (Fischer y cols., 2003; Salomon y Perkins, 1989).

La escala de habilidades proporciona un método para medir el desempeño y el aprendizaje a través de estas tareas y en otra área y, así, hace posible la evaluación de cualquier desempeño en una única métrica, así como también la comparación de desempeños a través de áreas y de tareas en esa métrica. En investigación sobre estudiantes que aprenden durante varios meses (estudiantes de ciencia de la escuela media que aprenden acerca del magnetismo, estudiantes egresados que aprenden a usar una computadora para análisis estadístico, etc.), encontramos que el aprendizaje ocurre en ondas recurrentes o festones (Granott, 2002; Schwartz y Fischer,

2005; Yan y Fischer, 2002): un estudiante comienza con un bajo nivel de comprensión de una tarea o un desempeño, tal como usar la computadora para hacer un análisis estadístico, y gradualmente desarrolla la habilidad en una situación y pasa de acciones a representaciones o de representaciones a abstracciones, como muestra la Figura 8.10. Sin embargo, la comprensión colapsa a causa de un cambio en la situación o por cualquier otro motivo. El estudiante, entonces, vuelve a desarrollar la comprensión y la sostiene brevemente, pero una vez más colapsa. Este proceso se repite muchas veces a medida que el estudiante aprende una nueva habilidad o comprensión y produce lo que se denomina un patrón de festoneado en el aprendizaje.

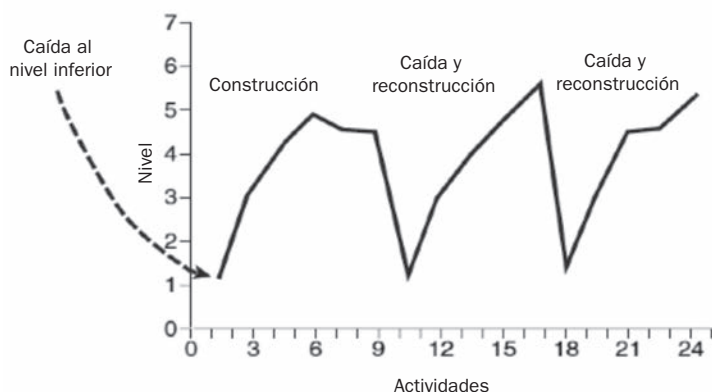


Figura 8.10 Construcción de una nueva habilidad a través de la reconstrucción repetida o festoneado. (Los niveles del 1 al 3 incluyen acciones, del 4 al 6 incluyen representaciones y del 7 en adelante incluyen abstracciones).

Los colapsos no indican dificultades. En cambio, son normales y necesarios, pues reflejan la necesidad de construir y reconstruir una habilidad con variaciones para que la persona pueda, con el tiempo, sostenerla frente a cambios en el contexto y el estado. Comúnmente, dominar una tarea requiere bajar hasta niveles primitivos de representaciones o incluso de acciones (similares a las de los lactantes), como muestra la Figura 8.10, de modo que la persona pueda entender las características de acción de la tarea o de la

situación. La capacidad humana de bajar a niveles tan elementales proporciona una enorme flexibilidad para la adaptación inteligente, pues las personas pueden aprender patrones nuevos de acción sensoriomotora necesaria para el éxito en un tipo diferente de tarea. Desplazarse a un nivel cognitivo bajo para una tarea nueva comprende una parte esencial de la inteligencia.

Sin embargo, el patrón de festoneado solo ocurre, a veces, en situaciones de aprendizaje. Refleja el punto medio en el proceso de aprendizaje, como muestra la Figura 8.11. Cuando los estudiantes son principiantes —no están familiarizados o cómodos con las tareas que tienen que hacer—, su desempeño es aún más variable que aquel de la Figura 8.10 (Yan y Fischer, 2002). En lugar de construir una habilidad de un nivel más elevado a través de varias actividades, cualquier habilidad relativamente compleja que construyen se desmorona con facilidad. Su desempeño vacila con caóticos altibajos, como se ve en la curva de crecimiento superior de la Figura 8.11. A medida que adquieren conocimiento de la tarea, pasan de este patrón caótico al patrón intermedio de festoneado (la curva media de la Figura 8.11 y la curva de la Figura 8.10), donde pueden mantener una habilidad de un nivel más elevado durante más tiempo, pero aún sufren colapsos abruptos y periódicos. Después de trabajar en esa tarea durante algún tiempo (en general, meses o incluso años), se vuelven expertos que pueden mantener un desempeño estable y de alto nivel, como muestra la curva inferior de la Figura 8.11. Con frecuencia, los expertos requieren un período inicial de exploración de la tarea para entender sus propiedades («descifrarla») antes de alcanzar un nivel estable, que conduce a un aumento gradual en el nivel, como se muestra en la curva. Asimismo, en ocasiones se topan con algún evento que lleva a una caída en el nivel de complejidad que, en general, es breve.

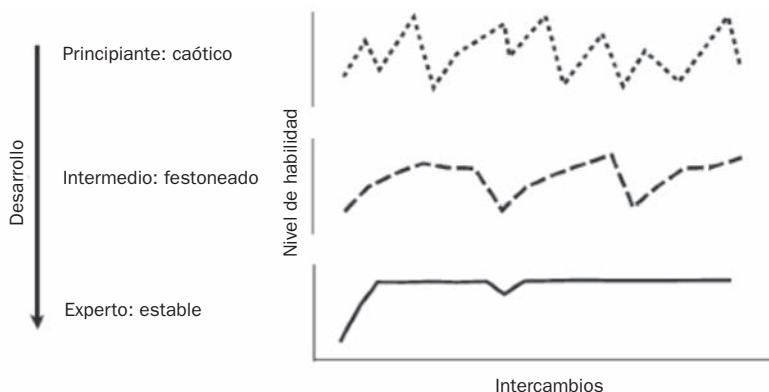


Figura 8.11 Curvas de crecimiento para aprender una tarea: principiantes, intermedios y expertos.

De esta manera, el aprendizaje no supone un crecimiento monótono a niveles más altos de entendimiento, sino un proceso cíclico extendido en el que un estudiante una y otra vez construye y reconstruye un desempeño. Pasa de la variación caótica en el nivel de habilidad a la reconstrucción repetida y gradual de una habilidad (festoneado) y, con el tiempo, a un nivel relativamente estable de pericia. Este análisis brinda un ejemplo de cómo la escala de complejidad de la habilidad puede iluminar el aprendizaje y otras actividades educativas. Tal vez, también se podrá analizar la actividad cerebral a medida que el aprendizaje avanza, para preguntar cómo los cambios en la actividad cerebral se relacionan con el grado de habilidad y de pericia. Es posible que algunos de los ciclos de crecimiento cerebral descritos antes sean evidentes a medida que el aprendizaje avanza en el microdesarrollo.

Paso de los ciclos de crecimiento a las implicancias educativas

La investigación que relaciona los ciclos de desarrollo cognitivo y la clasificación con la evaluación educativa es solo una de las muchas instancias en las que los hallazgos de la ciencia cognitiva contribuyen directamente con la investigación y la práctica edu-

cativas. No obstante, las conexiones entre los ciclos del desarrollo cerebral y la educación están lejos de ser fructíferas. Con el tiempo, la investigación que conecta directamente los ciclos de crecimiento cerebral con patrones de aprendizaje iluminará los procesos de aprendizaje, en especial las diferencias entre los individuos y los contextos. Por ejemplo, por hipótesis, las diferencias en los ciclos de las redes corticales se relacionan con diferencias entre niños tanto en la motivación para aprender como en la eficacia del aprendizaje en áreas específicas, tales como el razonamiento espacial, la matemática y la capacidad de leer y escribir.

Sin embargo, en la actualidad, los esfuerzos por vincular la investigación del desarrollo cerebral con la educación plantean serias inquietudes debido al descuido y al exceso en la «aplicación» (capítulo de Bruer, este libro; Fischer y cols., 2007). Los periodistas, los educadores y hasta los científicos del cerebro se apresuran a saltar del hallazgo de una investigación sobre el cerebro a una «implicancia» para la educación que, en general, no es nada más que una especulación improvisada. Un caso importante de esta clase de exceso y sus peligros tuvo lugar en las décadas de los setenta y de los ochenta, cuando unos científicos descubrieron la primera evidencia de los aumentos del crecimiento de la cabeza (Epstein, 1974) y luego las rachas de crecimiento de la actividad cerebral (Fischer y Rose, 1994; John, 1977). En pocos años, algunos científicos y educadores se apresuraron a sacar conclusiones en absoluto avaladas por los datos, tales como que los estudiantes no podían aprender nada nuevo durante los períodos meseta entre las rachas de crecimiento cerebral. Recomendaron a una serie de distritos escolares que cambiaran los planes de estudio para no introducir ningún concepto nuevo durante los períodos de edad normativos de mesetas en el crecimiento cerebral, porque en ese momento no tendría lugar ningún aprendizaje nuevo, según afirmaban (Epstein, 1978; Fischer y Lazerson, 1984). La evidencia cognitiva, incluidos los datos sobre el desempeño y el aprendizaje escolares, nunca respaldó esta especulación, pero una serie de sistemas de escuelas de América del Norte tomaron esas recomendaciones con seriedad porque los defensores decían que provenían de la ciencia del cerebro. Varios de nosotros luchamos contra estas afirmaciones engañosas durante varios años hasta que, por fin, los intentos problemáticos se desvanecieron.

Otro error común ha sido saltar de la evidencia de períodos críticos del desarrollo cerebral —una ventana limitada de tiempo

durante la cual una experiencia específica moldea la función cerebral— a implicancias acerca de cuándo las personas pueden o no pueden aprender a hablar, leer, hacer ejercicios de aritmética, etc. (Bailey, Bruer, Symons y Lichtman, 2001; Snow y Hoefnagel-Hohle, 1978). Estas afirmaciones representan, también, conclusiones ilegítimas que no están respaldadas por una cuidadosa evidencia de la investigación.

Los investigadores y los educadores de la mente, el cerebro y la educación deben emplear la cautela científica normal al sacar conclusiones para la práctica educativa. Ello incluye abstenerse de apresurarse a postular consecuencias educativas a partir de la investigación del cerebro hasta que exista una evidencia directa que evalúe el aprendizaje y el desempeño, evidencia que vincule el cerebro con el comportamiento, y el comportamiento, a su vez, con la práctica. Por ejemplo, existe una gran promesa de que los ciclos de crecimiento cerebral y cognitivo iluminarán el aprendizaje y la práctica educativa y proporcionarán nuevas y maravillosas herramientas para analizar los patrones de aprendizaje y las diferencias de los alumnos, y optimizar las intervenciones educativas. La investigación sobre los ciclos de crecimiento cognitivo ya está dando frutos en la evaluación y la comparación de los patrones de aprendizaje a través de las áreas y los individuos, así como también al relacionarlos con la enseñanza y los planes de estudios. Sin embargo, el estado actual de conocimiento no permite una extrapolación directa de los ciclos de crecimiento cerebral a la práctica educativa. Construir vínculos entre la mente, el cerebro y la educación requiere construir relaciones recíprocas entre la ciencia cognitiva, la biología y la educación sobre la base de interacciones de investigadores y de facultativos. A medida que esos vínculos crezcan, las preguntas y las ideas de la práctica educativa darán forma y enriquecerán la ciencia del cerebro y la cognitiva, así como los hallazgos científicos darán forma y enriquecerán la práctica educativa.

Referencias

- Bailey, D. B., Jr., Bruer, J. T., Symons, F. J. y Lichtman, J. W. (comps.) (2001). *Critical Thinking About Critical Periods*, Baltimore, Maryland, Paul H. Brookes Publishing.
- Bell, M. A. (1998). «The ontogeny of the EEG during infancy and

- childhood: Implications for cognitive development», en B. Garreau (comp.), *Neuroimaging in Child Psychiatric Disorders* (págs. 97-111), Berlín, Springer-Verlag.
- Bell, M. A. y Fox, N. A. (1994). «Brain development over the first year of life: Relations between electroencephalographic frequency and coherence and cognitive and affective behaviors», en G. Dawson y K. W. Fischer (comps.), *Human Behavior and the Developing Brain* (págs. 314-345), Nueva York, Guilford Press.
- (1996). «Crawling experience is related to changes in cortical organization during infancy: Evidence from EEG coherence», *Developmental Psychobiology*, 29, 551-561.
- Bidell, T. R. y Fischer, K. W. (1992). «Cognitive development in educational contexts: Implications of skill theory», en A. Demetriou, M. Shayer y A. Efklides (comps.), *Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development: Implications and Applications for Education* (págs. 9-30), Londres, Routledge & Kegan Paul.
- Blinkov, S. M. y Glezer, I. I. (1968). *The Human Brain in Figures and Tables*, Nueva York, Plenum Press.
- Case, R. (1998). «The development of conceptual structures», en D. Kuhn y R. S. Siegler (comps.), y W. Damon (comp. de la serie), *Handbook of Child Psychology*, Vol. II, *Cognition, Perception, and Language*, Nueva York, Wiley.
- Coch, D., Fischer, K. W. y Dawson, G. (comps.) (2007). *Human Behavior, Learning and the Developing Brain: Normal Development* (2.^a ed.), Nueva York, Guilford.
- Dawson, G. y Fischer, K. W. (comps.) (1994). *Human Behavior and the Developing Brain*, Nueva York, Guilford Press.
- Dawson, T. y Wilson, M. (2004). «The LAAS: A computerizable scoring system for small- and large-scale developmental assessments», *Educational Assessment*, 9, 153-191.
- Dawson-Tunik, T. L., Commons, M., Wilson, M. y Fischer, K. W. (2005). «The shape of development», *European Journal of Developmental Psychology*, 2, 163-195.
- Dawson-Tunik, T. L. y Stein, Z. (2004). «Cycles of research and application in science education», en K. W. Fischer y T. Katzir (comps.), *Building Usable Knowledge in Mind, Brain, and Education*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Epstein, H. T. (1974). «Phrenoblysis: Special brain and mind growth periods», *Developmental Psychobiology*, 7, 207-224.

- (1978). «Growth spurts during brain development: Implications for educational policy and practice», en J. S. Chall y A. F. Mirsky (comps.), *Education and the Brain (Yearbook of the NSSE)*, Chicago, University of Chicago Press.
- Fischer, K. W. (1980). «A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills», *Psychological Review*, 87, 477-531.
- Fischer, K. W. y Bidell, T. R. (1998). «Dynamic development of psychological structures in action and thought», en R. M. Lerner (comp.) y W. Damon (comp. de la serie), *Handbook of Child Psychology*, Vol. I, *Theoretical Models of Human Development* (5.^a ed., págs. 467-561), Nueva York, Wiley.
- (2006). «Dynamic development of action, thought, and emotion», en R. M. Lerner (comp.) y W. Damon (comp. de la serie), *Handbook of Child Psychology*, Vol. I, *Theoretical Models of Human Development* (6.^a ed., págs. 313-399), Nueva York, Wiley.
- Fischer, K. W. y Elmendorf, D. (1986). «Becoming a different person: Transformations in personality and social behavior», en M. Perlmutter (comp.), *Cognitive Perspectives on Children's Social Development. Minnesota Symposium on Child Psychology*, 18, 137-178, Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum.
- Fischer, K. W., Immordino-Yang, M. H. y Waber, D. P. (2007). «Toward a grounded synthesis of mind, brain, and education for reading disorders: An introduction to the field and this book», en K. W. Fischer, J. H. Bernstein y M. H. Immordino-Yang (comps.), *Mind, Brain, and Education in Reading Disorders* (págs. 3-15), Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Fischer, K. W., Kenny, S. L. y Pipp, S. L. (1990). «How cognitive processes and environmental conditions organize discontinuities in the development of abstractions», en C. N. Alexander y E. J. Langer (comps.), *Higher Stages of Human Development: Perspectives on Adult Growth* (págs. 162-187), Nueva York, Oxford University Press.
- Fischer, K. W. y Lazerson, A. (1984). «Research: Brain spurts and Piagetian periods», *Educational Leadership*, 41(5), 70.
- Fischer, K. W. y Rose, S. P. (1994). «Dynamic development of coordination of components in brain and behavior: A framework for theory and research», en Dawson y K. W. Fischer (comps.),

- Human Behavior and the Developing Brain* (págs. 3-66), Nueva York, Guilford Press.
- Fischer, K. W., Yan, Z. y Stewart, J. (2003). «Adult cognitive development: Dynamics in the developmental web», en J. Valsiner y K. Connolly (comps.), *Handbook of Developmental Psychology* (págs. 491-516), Thousand Oaks, California, Sage.
- Granott, N. (2002). «How microdevelopment creates macrodevelopment: Reiterated sequences, backward transitions, and the zone of current development», en N. Granott y J. Parziale (comps.), *Microdevelopment: Transition Processes in Development and Learning* (págs. 213-242), Cambridge, Cambridge University Press.
- Granott, N., Fischer, K. W. y Parziale, J. (2002). «Bridging to the unknown: A transition mechanism in learning and problem-solving», en N. Granott y J. Parziale (comps.), *Microdevelopment: Transition Processes in Development and Learning* (págs. 131-156), Cambridge, Cambridge University Press.
- Hanlon, H. W., Thatcher, R. W. y Cline, M. J. (1999). «Gender differences in the development of EEG coherence in normal children», *Developmental Neuropsychology*, 16, 479-506.
- Hudspeth, W. J. y Pribram, K. H. (1990). «Stages of brain and cognitive maturation», *Journal of Educational Psychology*, 82, 881-884.
- Hudspeth, W. J. y Pribram, K. H. (1992). «Psychophysiological indices of cerebral maturation», *International Journal of Psychophysiology*, 12, 19-29.
- John, E. R. (1977). *Functional Neuroscience*, Vol. II, *Neurometrics*, Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum.
- Kitchener, K. S., Lynch, C. L., Fischer, K. W. y Wood, P. K. (1993). «Developmental range of reflective judgment: The effect of contextual support and practice on developmental stage», *Developmental Psychology*, 29, 893-906.
- Lampl, M., Veldhuis, J. D. y Johnson, M. L. (1992). «Saltation and stasis: A model of human growth», *Science*, 258, 801-803.
- Matousek, M. y Petersén, I. (1973). «Frequency analysis of the EEG in normal children and adolescents», en P. Kellaway e I. Petersén (comps.), *Automation of Clinical Electroencephalography* (págs. 75-102), Nueva York, Raven Press.
- Molenaar, P. C. M. (2004). «A manifesto on psychology as idiographic science: Bringing the person back into scientific psychology, this time forever», *Measurement*, 2, 201-218.

- Noonan, K. J., Farnum, C. E., Leiferman, E. M., Lampl, M., Markel, M. D. y Wilsman, N. J. (2004). «Growing pains: Are they due to increased growth during recumbency as documented in a lamb model?», *Journal of Pediatric Orthopedics*, 24, 726-731.
- Piaget, J. (1983). «Piaget's theory», en W. Kessen (comp.) y P. H. Mussen (comp. de la serie), *Handbook of Child Psychology*, Vol. I, *History, Theory, and Methods* (págs. 103-126), Nueva York, Wiley.
- Rakic, P. (1971). «Guidance of neurons migrating to the fetal monkey neocortex», *Brain Research*, 33, 471-476.
- (1988). «Specification of cerebral cortical areas», *Science*, 241, 170-176.
- Reznick, J. S. y Goldfield, B. A. (1992). «Rapid change in lexical development in comprehension and production», *Developmental Psychology*, 28, 406-413.
- Ruhland, R. y Van Geert, P. (1998). «Jumping into syntax: Transitions in the development of closed class words», *British Journal of Developmental Psychology*, 16(Pt 1), 65-95.
- Salomon, G. y Perkins, D. N. (1989). «Rocky roads to transfer: Rethinking mechanisms of a neglected phenomenon», *Educational Psychologist*, 24, 185-221.
- Schwartz, M. S. y Fischer, K. W. (2005). «Building general knowledge and skill: Cognition and microdevelopment in science learning», en A. Demetriou y A. Raftopoulos (comps.), *Cognitive Developmental Change: Theories, Models, and Measurement*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- Siegler, R. S. (1997). *Children's Thinking* (3.^a ed.), Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall.
- Snow, C. E. y Hoefnagel-Hohle, M. (1978). «The critical period for language acquisition: Evidence from second language learning», *Child Development*, 49, 1114-1128.
- Somsen, R. J. M., Van 't Klooster, B. J., Van der Molen, M. W., Van Leeuwen, M. P. y Licht, R. (1997). «Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra», *Biological Psychology*, 44, 187-209.
- Stauder, J. E. A. M., Peter, C. M. y Van der Molen, M. W. (1999). «Brain activity and cognitive transition during childhood: A longitudinal event-related brain potential study», *Child Neuropsychology*, 5, 41-59.
- Thatcher, R. W. (1992). «Cyclic cortical reorganization during early

- childhood. Special Issue: The role of frontal lobe maturation in cognitive and social development», *Brain & Cognition*, 20(1), 24-50.
- (1994). «Cyclic cortical reorganization: Origins of human cognitive development», en G. Dawson y K. W. Fischer (comps.), *Human Behavior and the Developing Brain* (págs. 232-266), Nueva York, Guilford Press.
- Van der Molen, M. W. y Molenaar, P. C. M. (1994). «Cognitive psychophysiology: A window to cognitive development and brain maturation», en G. Dawson y K. W. Fischer (comps.), *Human Behavior and the Developing Brain* (págs. 456-490), Nueva York, Guilford Press.
- Yan, Z. y Fischer, K. W. (2002). «Always under construction: Dynamic variations in adult cognitive development», *Human Development*, 45, 141-160.

Mecanismos del cerebro y aprendizaje de habilidades de alto nivel

Michael I. Posner, Mary K. Rothbart y M. Rosario Rueda¹

Introducción

Dos contribuciones científicas significativas, las imágenes del cerebro y las secuencias de los genes, están ayudando a los científicos y a los educadores a comprender las diferencias individuales en la adquisición de habilidades cognitivas y emocionales. La investigación sobre los mecanismos cerebrales de atención en niños y en adultos muestra tres redes neuronales independientes para alertar, orientar y ejercer el control ejecutivo en la resolución de conflictos. El estudio de los autores de la red atencional evalúa la eficiencia de cada uno de estos tres sistemas y revela diferencias individuales claras, que se relacionan con las evaluaciones de la capacidad de los niños de regular su propio comportamiento. Entre los factores que afectan esta capacidad de regulación, hay dos genes relacionados con el neurotransmisor dopamina, que se relaciona con el desempeño y la activación de un nodo de la red atencional en el cíngulo anterior. Desde principios de la niñez, el control esforzado de la atención desempeña un papel no solo en el aprendizaje, sino también en la socialización y la empatía. Comprender la regulación de la atención y su relación con el aprendizaje claramente será informativo para los maestros y los padres.

Los compiladores

1. Esta investigación fue respaldada en parte por una beca del Siglo XXI de la Fundación James S. McDonnell y por una beca BCS 9907831 de la NSF, una beca MH43361 del NIMH y una beca de investigación del Programa de Becas de La Caixa (España).

Dos grandes acontecimientos han alterado en gran medida las perspectivas para establecer una conexión entre las redes comunes del cerebro humano y las teorías sobre cómo difieren las personas. En primer lugar, con el avance de las neuroimágenes, pudimos echar un vistazo dentro del cerebro humano cuando las personas piensan (Posner y Raichle, 1994). Cuando se las combinó con el registro eléctrico o magnético desde fuera del cráneo, fue posible ver en tiempo real los circuitos involucrados en los aspectos de cómputo de una tarea. Aunque algunas partes de esta tecnología han existido durante largo tiempo, recién en los últimos quince años se tornó claro que podíamos crear imágenes locales de la anatomía en funcionamiento del cerebro humano.

Al principio del siglo xx, Santiago Ramón y Cajal (1937) pudo, por primera vez, observar las células nerviosas individuales. Nuestra capacidad actual de ver dentro del cerebro humano depende de la operación de estas células nerviosas. Cuando las neuronas están activas, cambian su propio suministro sanguíneo local. Ello hace posible rastrear áreas del cerebro que están activas durante los procesos cognitivos midiendo los cambios locales en aspectos del suministro sanguíneo del cerebro.

El segundo gran desarrollo de fines del siglo xx fue la secuenciación de la totalidad del genoma humano (Venter, Adams, Myers, Li y cols., 2001). Entonces fue posible no solo estudiar la anatomía funcional de las redes cerebrales, sino también examinar cómo las diferencias genéticas podrían conducir a una variación individual en el potencial para usar estas redes en la adquisición y el desempeño de las habilidades. Sin embargo, la ruta desde la dotación genética hasta el desempeño no sería simple ni estaría separada de un entendimiento de las redes cerebrales mismas. En su totalidad, estos desarrollos permiten la posibilidad de examinar las redes que subyacen tras la autorregulación de los pensamientos, las emociones y el comportamiento necesarios para tener éxito en la escuela.

Redes atencionales

Las neuroimágenes funcionales han permitido que se analicen muchas tareas cognitivas en términos de las áreas cerebrales que activan, y los estudios de la atención se encuentran entre los que se han examinado con más frecuencia en este sentido (Corbetta y

Shulman, 2002; Driver, Eimer y Macaluso, 2004; Posner y Raichle, 1994). Los datos de las imágenes han respaldado la presencia de tres redes relacionadas con diferentes aspectos de la atención. Estas redes realizan las funciones de alertar, orientar y ejercer el control ejecutivo (Posner y Raichle, 1994). En la Tabla 9.1, se muestra un resumen de la anatomía y de los transmisores involucrados en las tres redes.

Alertar se define como lograr y mantener un estado de alta sensibilidad ante los estímulos entrantes, orientar es la selección de la información del estímulo sensorial, y ejercer el control ejecutivo involucra los mecanismos para monitorear y resolver el conflicto entre pensamientos, sentimientos y respuestas. El sistema de alerta se ha asociado con las regiones talámica, frontal y parietal de la corteza. Un modo particularmente efectivo de variar el estado de alerta ha sido usar señales de advertencia antes que estímulos objetivos (*target*). Se piensa que la influencia de las señales de advertencia en el nivel de alerta se debe a la modulación de la actividad neuronal por el neurotransmisor norepinefrina (Marrocco y Davidson, 1998).

Orientar conlleva alinear la atención con una fuente de señales sensoriales. Esta puede ser manifiesta, como cuando los movimientos de los ojos acompañan los movimientos de la atención, o puede ocurrir en forma oculta, sin movimiento ocular. El sistema de orientación para los eventos visuales se ha asociado con áreas posteriores del cerebro, incluido el lóbulo parietal superior y la unión temporoparietal y, además, los campos oculares frontales (Corbetta y Shulman, 2002). La orientación puede ser manipulada presentando una señal que indique en qué sitio del espacio es probable que ocurra el estímulo objetivo y, de este modo, dirigir la atención al sitio indicado (Posner, 1980). Estudios de imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf) relacionados con los eventos han sugerido que el lóbulo parietal superior está asociado con la orientación tras la presentación de una señal (Corbetta y Shulman, 2002). El lóbulo parietal superior en los seres humanos está estrechamente relacionado con el área intraparietal lateral (AIL) en monos, que se sabe que produce movimientos oculares (Andersen, 1989). Cuando ocurre un estímulo objetivo en una ubicación no indicada y hay que retirar la atención y dirigirla hacia un nuevo sitio, hay actividad en la unión temporoparietal (Corbetta y Shulman, 2002). Las lesiones en el lóbulo parietal inferior

y el lóbulo temporal superior se han relacionado de modo sistemático con las dificultades en la orientación (Karnath, Ferber y Himmelbach, 2001).

El control ejecutivo de la atención con frecuencia se estudia mediante tareas que conllevan conflicto, como las diversas versiones de la prueba de Stroop. En la prueba de Stroop, los sujetos deben responder al color de la tinta (por ejemplo, roja) a la vez que hacen caso omiso de la palabra que nombra el color (por ejemplo, azul) (Bush, Luu y Posner, 2000). Resolver el conflicto en la prueba de Stroop activa las áreas frontales de la línea media (cíngulo anterior) y la corteza prefrontal lateral (Botvinick, Braver, Barch, Carter y Cohen, 2001; Fan, Flombaum, McCandliss, Thomas y Posner, 2003). Asimismo, hay evidencia de la activación de esta red en tareas que involucran conflicto entre un estímulo objetivo central y flancos circundantes que pueden ser congruentes o incongruentes con el estímulo objetivo (Botvinick y cols., 2001; Fan y cols., 2003). Las tareas experimentales también pueden proporcionar un medio de fraccionar las contribuciones funcionales de diferentes áreas dentro de la red de atención ejecutiva (McDonald, Cohen, Stenger y Carter, 2000). Recientes estudios de neuroimágenes han proporcionado evidencia de que la red de atención ejecutiva está involucrada en la autorregulación del afecto positivo y negativo (Beauregard, Levesque y Bourgouin, 2001; Ochsner, Kosslyn, Cosgrove, Cassem y cols., 2001) así como también en una amplia variedad de tareas cognitivas que subyacen tras la inteligencia (Duncan, Seitz, Kolodny, Bor y cols., 2000).

Tabla 9.1 Estructuras anatómicas y neuromoduladores relacionados con cada una de las tres redes de atención.

Función	Estructuras	Modulador
Orientar	Parietal superior Unión temporoparietal Campos oculares frontales Colículo superior	Acetilcolina
Alertar	Locus cerúleo Corteza frontal y parietal derechas	Norepinefrina
Atención ejecutiva	Cíngulo anterior Lateral ventral prefrontal Ganglios basales	Dopamina

Individualidad

Casi todos los estudios de la atención se han ocupado de las capacidades generales o de los efectos del daño o la patología del cerebro en la atención. No obstante, está claro que los individuos normales difieren en su capacidad de prestar atención a los eventos sensoriales e, incluso más claramente, en su capacidad de concentrarse durante largos períodos en líneas de pensamiento internas. A fin de estudiar estas diferencias individuales, hemos elaborado un test de redes atencionales (TRA, véase la Figura 9.1) que examina la eficiencia de las tres redes cerebrales que hemos descrito anteriormente (Fan, McCandliss, Sommer, Raz y Posner, 2002).

Los datos proporcionan tres números que representan la capacidad de cada individuo en las redes de alerta, de orientación y ejecutiva. En una muestra de cuarenta personas normales, hallamos que cada uno de estos índices era confiable a lo largo de pruebas repetidas; además, no se halló una correlación entre los tres puntajes de las redes.

La capacidad de medir las diferencias individuales en la atención entre adultos da lugar a la pregunta de en qué medida se hereda la atención. Para abordar esta cuestión, usamos nuestro test de redes atencionales para estudiar veintiséis pares de mellizos monocigóticos y veintiséis pares de mellizos dicigóticos del mismo sexo (Fan y cols., 2001). Hallamos fuertes correlaciones entre los mellizos monocigóticos para la medida de la red ejecutiva. Ello condujo a un estimativo de heredabilidad de la red ejecutiva de 0,89. Debido a la pequeña muestra, el estimativo del intervalo de confianza del 95% para la heredabilidad es entre 0,3 y 0,9. Sin embargo, estos datos respaldan una función de los genes en la eficacia con la cual la red ejecutiva es puesta en acción.

Como un modo de buscar genes candidatos que podrían relacionarse con la eficiencia de estas redes, utilizamos la asociación de la red ejecutiva con el neuromodulador dopamina (DA) (Fossella, Sommer, Fan, Wu y cols., 2002). Para hacerlo, 200 personas realizaron el TRA, y determinamos su genotipo para examinar polimorfismos frecuentes en los genes relacionados con sus respectivos neuromoduladores. Hallamos una asociación significativa de dos genes relacionados con la dopamina, los genes DRD4 y MAOA. Luego, realizamos un experimento con neuroimágenes en el cual

comparamos personas con dos alelos diferentes de estos dos genes mientras realizaban el TRA. Encontramos que estos alelos producían una activación diferente dentro del cíngulo anterior, que es un nodo principal de esta red (Fan y cols., 2003). Posteriormente, se mostró que un número de otros genes de la dopamina y la serotonina estaban relacionados con la atención ejecutiva (Posner, Rothbart y Sheese, 2007).

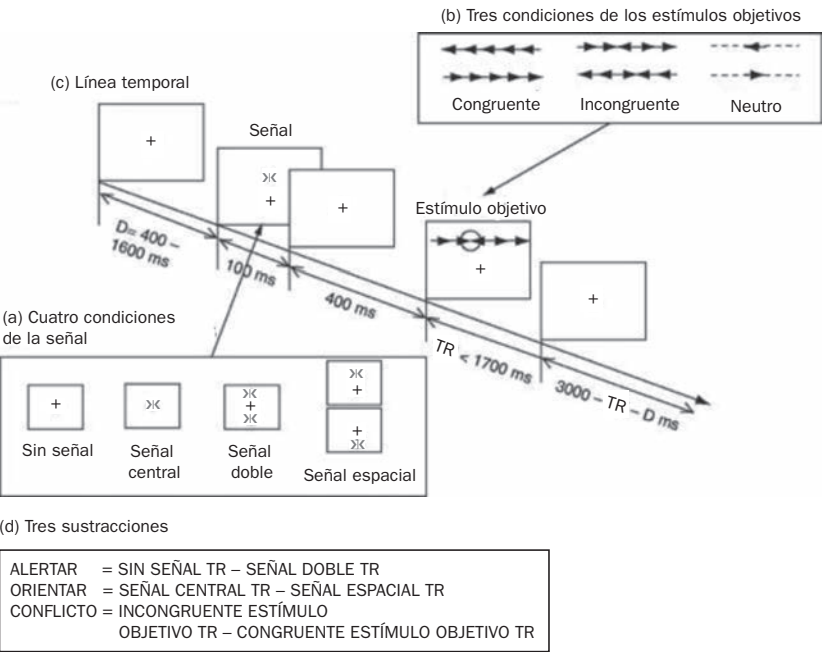


Figura 9.1 Esquema del Test de la Red Atencional (TRA) elaborado por Fan y cols. (2002) para estudiar las diferencias individuales en las tres redes atencionales: (a) ilustra las cuatro condiciones de las señales; (b) los tres tipos de estímulos objetivos; (c) la secuencia de los eventos y (d) las sustracciones para indicar la eficiencia de cada red.

Primera infancia

El desarrollo de la red involucrada en orientar hacia los objetos visuales ha sido rastreado hasta la primera infancia (Haith, Hazan y Goodman, 1988; Clohessy, Posner y Rothbart, 2001). Sin

embargo, los lactantes no tienen un buen desempeño con una ambigüedad que introduce conflicto entre respuestas (Clohessy, Posner y Rothbart, 2001). La capacidad de resolver conflictos es una parte importante de la red de atención ejecutiva, y ello no parece estar disponible hasta alrededor de los dos años.

Se encontraron cambios en el desarrollo en el control de la cognición por parte de la atención ejecutiva durante el tercer año de vida usando una tarea de conflicto (Gerardi-Caulton, 2000). Debido a que los niños de esta edad no leen, la ubicación y la identidad, en vez del significado de las palabras, y el color de la tinta sirvieron como las dimensiones del conflicto (la tarea del conflicto espacial). Los niños se sentaron frente a dos claves de respuesta, una ubicada a la izquierda del niño, y otra, a la derecha. Cada clave desplegaba una imagen y, en cada prueba, una imagen idéntica a una del par aparecía, ya fuera a la izquierda o a la derecha de la pantalla. Los niños eran recompensados por responder a la identidad del estímulo, independientemente de su compatibilidad espacial con la clave de respuesta correspondiente (Gerardi-Caulton, 2000). La precisión reducida y los tiempos de reacción más lentos para las pruebas de espacialidad incompatibles en relación con las pruebas de espacialidad compatibles reflejan el esfuerzo requerido para resistir la respuesta prepotente y resolver el conflicto entre estas dos dimensiones rivales. La realización de esta tarea produjo un efecto de interferencia claro en los adultos y activó el cíngulo anterior (Fan, Flombaum y cols., 2003). Los niños de 24 meses tendían a concentrarse en una única respuesta, mientras que los de 36 meses se desempeñaban con niveles de alta precisión, pero como los adultos, respondían más lentamente y con menor precisión a las pruebas incompatibles.

La importancia de poder estudiar la aparición de la atención ejecutiva se ve aumentada, porque las medidas cognitivas de la resolución de conflictos en estas tareas de laboratorio se han vinculado con aspectos del autocontrol de los niños en ámbitos naturalistas. Los niños relativamente menos afectados por el conflicto espacial también recibieron calificaciones más altas de sus padres en cuanto al control temperamental esforzado y mayores puntajes en las medidas de laboratorio del control inhibitorio (Gerardi-Caulton, 2000).

Los cuestionarios han mostrado que el factor de control esforzado, definido en términos de escalas que medían la concentración atencional, el control inhibitorio, el placer de baja intensidad y la

sensibilidad perceptual (Rothbart, Ahadi y Hershey, 1994), está inversamente relacionado con el afecto negativo temperamental. Esta relación coincide con la noción de que la habilidad atencional puede ayudar a atenuar el afecto negativo, a la vez que sirve para limitar las tendencias de enfoques impulsivos.

La empatía también está fuertemente relacionada con el control esforzado, y los niños con alto control esforzado muestran mayor empatía (Rothbart y cols., 1994). Mostrar empatía para con los demás requiere que interpretemos sus señales de aflicción o de placer. El trabajo con imágenes en individuos normales muestra que las caras tristes activan la amígdala. A medida que la tristeza aumenta, esta activación es acompañada por actividad en el cíngulo anterior como parte de la red atencional (Blair, Morris, Frith, Perrett y Dolan, 1999). Parece probable que la actividad del cíngulo represente la base de nuestra atención en la aflicción de otros.

Estos estudios sugieren dos sendas para una socialización exitosa. Una amígdala fuertemente reactiva en niños más temerosos proporcionaría las señales de aflicción que con facilidad permitirían sentimientos empáticos hacia los otros. Con estos niños, es relativamente fácil socializar. En ausencia de esta forma de control, el desarrollo del cíngulo permitiría una atención adecuada a las señales proporcionadas por la actividad de la amígdala. En coherencia con su influencia en la empatía, el control esforzado también parece desempeñar un papel en el desarrollo de la conciencia. La internalización de los principios morales parece verse facilitada en los niños temerosos de edad preescolar, en especial cuando sus madres emplean una disciplina moderada (Kochanska, 1995). Además, el control internalizado se ve facilitado en niños con alto control esforzado (Kochanska, Murray, Jacques, Koenig y Vandegeest, 1996). Dos sistemas de control separables, uno reactivo (el temor) y otro autorregulador (el control esforzado) parecen regular el desarrollo de la conciencia. En respaldo del vínculo entre el control esforzado y el comportamiento social, Ellis, Rothbart y Posner (2004) hallaron que, para los adolescentes, el control esforzado y la poca capacidad de controlar el conflicto según lo medido por el TRA predijeron por separado un comportamiento antisocial.

Las diferencias individuales en el control esforzado también están relacionadas con algunos aspectos del conocimiento metacognitivo, como la teoría de la mente (es decir, saber que el comportamiento de los individuos está guiado por sus creencias, deseos

y otros estados mentales) (Carlson y Moses, 2001). Además, las tareas que requieren la inhibición de una respuesta prepotente se correlacionan con la teoría de las tareas mentales, incluso cuando otros factores, como la edad, la inteligencia y la memoria operativa son dejados de lado (Carlson y Moses, 2001). El control inhibitorio y la teoría de la mente comparten un curso temporal similar de desarrollo, con avances en ambas áreas entre los 2 y los 5 años.

Período preescolar

Hemos rastreado el desarrollo de la atención ejecutiva hasta el período preescolar (Rueda, Fan, McCandliss, Halparin, Gruber, Pappert y Posner, 2004) usando una versión del TRA adaptada para niños (véase la Tabla 9.2). En algunos aspectos, los resultados son notablemente similares a aquellos encontrados en el caso de adultos usando la versión de la tarea que se muestra en la Figura 9.1. Los tiempos de reacción de los niños son mucho mayores, pero muestran una independencia similar entre las tres redes. Los niños tienen puntajes mucho mayores para la alerta y el conflicto, lo que sugiere que les cuesta mantener el estado de alerta cuando no se les advierte acerca del nuevo estímulo objetivo, y al resolver el conflicto. Resulta algo sorprendente, al medirlo con el TRA, que la capacidad de resolver el conflicto en la tarea de flancos siga siendo la misma desde los siete años hasta la adultez (véase la Tabla 9.2).

Hay considerable evidencia de que la red de atención ejecutiva es de gran importancia en la adquisición de temas escolares, como el alfabetismo (McCandliss, Sandak, Beck y Perfetti, 2003) y en una amplia variedad de otros temas que se basan en la inteligencia general (Duncan y cols., 2000). Los psicólogos han creído generalizadamente que el entrenamiento siempre involucra áreas específicas, y que un entrenamiento más general de la mente, por ejemplo, por parte de disciplinas formales, como la matemática o el latín, no se generalizaba fuera del área específica entrenada (Thorndike, 1903; Simon, 1969). No obstante, la atención puede ser una excepción. Es, a la vez, un área que involucra mecanismos cerebrales específicos, como hemos visto, pero cuya función es influir en la operación de otras redes cerebrales (Posner y Petersen, 1990; Posner y Raichle, 1994). Además, desde el punto de vista anatómico, la red que involucra la resolución del conflicto se superpone con áreas

cerebrales relacionadas con la inteligencia general (Duncan y cols., 2000). El entrenamiento de la atención explícita o implícitamente, con frecuencia, también es parte del plan de estudios escolar (Mills y Mills, 2000), aunque hay poca investigación disponible para determinar con exactitud cómo y cuándo puede hacerse el entrenamiento de la atención de la mejor manera.

Tabla 9.2 Desarrollo de la eficiencia de las redes atencionales. El estudio 1 muestra el desarrollo desde los 6 a los 10 años medido con la versión para niños del TRA. El estudio 2 compara niños de 10 años con adultos que usan tanto las versiones para adultos como para niños del TRA.

TRA de un niño 							
Sustracciones de las redes atencionales							
Estudio	Edad	Alertar	Orientar	Conflicto	Conflicto para errores	TR global	Índices de error globales
1	6	79 (75)	58 (76)	115 (80)	15,6	931 (42)	15,8
	7	100 (75)	62 (67)	63 (83)	0,7	833 (125)	5,7
	8	73 (67)	63 (66)	71 (77)	-0,3	806 (102)	4,9
	9	79 (47)	42 (48)	67 (38)	1,6	734 (68)	2,7
2	10	41 (47)	46 (44)	69 (44)	2,1	640 (71)	2,2
	Adultos	30 (32)	32 (30)	61 (26)	1,6	483 (36)	1,2
TRA de un adulto 							
2	10	78 (61)	60 (56)	156 (76)	3,9	710 (90)	2,8
	Adultos	40 (34)	52 (35)	131 (62)	4,7	532 (54)	2

Un aspecto central de la red de atención ejecutiva es la capacidad de manejar el conflicto. Empleamos esta característica para diseñar un grupo de ejercicios de entrenamiento que se adaptaron a partir de los intentos por enviar monos macacos al espacio exterior (Rumbaugh y Washburn, 1995). Estos ejercicios tuvieron como resultado la capacidad de los monos de resolver el conflicto en una prueba del tipo de la de Stroop (Washburn, 1994).

Nuestros ejercicios comenzaron entrenando al niño a controlar el movimiento de un gato usando una palanca de mando así como también a predecir hacia dónde se movería un objeto, dada su trayectoria inicial (véase la Figura 9.2). Otros ejercicios pusieron énfasis en el uso de la memoria de trabajo para retener información para una tarea de igualación a la muestra y la resolución del conflicto (véase la Figura 9.3).

Hemos probado la eficacia de un entrenamiento de la atención muy breve de cinco días con grupos de niños de cuatro años. Los niños fueron llevados al laboratorio durante siete días para asistir a sesiones que duraban unos cuarenta minutos. Estas sesiones se llevaron a cabo durante un período de dos a tres semanas. Los primeros y los últimos días se emplearon para evaluar los efectos del entrenamiento mediante el uso del TRA, una prueba general de inteligencia (la K-BIT, Kaufman y Kaufman, 1990) y una escala de temperamento (el Cuestionario de Comportamiento Infantil o CCI). Durante la administración del TRA, registramos 128 canales de EEG a fin de observar la amplitud y el curso temporal de activación de áreas del cerebro asociadas con la atención ejecutiva en estudios, en adultos (Rueda, Fan y Posner, 2003).

Durante nuestro primer experimento, comparamos a doce niños que pasaron por nuestro procedimiento de entrenamiento con doce que fueron seleccionados al azar y no recibieron entrenamiento, sino que se presentaron dos veces para la evaluación. En nuestro segundo experimento, nuevamente trabajamos con niños de cuatro años, pero el grupo control se presentó siete veces y vio videos que requirieron una respuesta ocasional por parte de ellos a fin de que siguieran jugando. Todos los niños parecieron disfrutar de la experiencia (véase la Figura 9.4), y sus cuidadores los respaldaron mucho durante ella.

En este capítulo, ilustramos los ejercicios de entrenamiento en las Figuras 9.2-9.4 y presentamos una breve reseña de nuestros resultados iniciales. Desde luego, cinco días es una cantidad mínima de entrenamiento para influir en el desarrollo de redes que evolucionan a lo largo de muchos años. Sin embargo, hallamos una mejora general en la inteligencia en el grupo experimental según lo medido por la K-BIT. Ello se debe a una mejora del grupo experimental en el desempeño de la porción no verbal de la prueba del cociente intelectual (CI). Asimismo, descubrimos que las medidas del tiempo de reacción (TR) registradas con el TRA fueron sumamente inestables y poco confiables en niños de la edad que estábamos estudiando; por lo tanto, no pudimos obtener una mejora significativa en las medidas de las diversas redes, aunque mejoró el tiempo de reacción global. Hallamos que los niños entrenados presentaban menores puntajes de conflicto (atención ejecutiva más eficiente) que los controles. No observamos cambios en el temperamento durante el transcurso del entrenamiento. Nuestro análisis preliminar

de las redes cerebrales usando registros de EEG sugirió que el componente más estrechamente relacionado con el cíngulo anterior en estudios previos podía verse en los niños de cuatro años después del entrenamiento. A causa de la variabilidad del TR en los niños de cuatro años, repetimos nuestro estudio con niños de seis años. Los resultados respaldan la capacidad del programa de entrenamiento para cambiar la red de atención ejecutiva (Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccamanno y Posner, 2005; Posner y Rothbart, 2007).

A medida que aumenta el número de niños que participa en nuestro entrenamiento, podemos examinar aspectos de su temperamento y de su genotipo que nos ayudan a comprender quién podría beneficiarse con el entrenamiento de la atención. Con este fin, en la actualidad estamos genotipificando a todos los niños en un intento por examinar los genes candidatos que previamente se encontró que estaban relacionados con la eficacia de las redes de atención ejecutiva (Rueda y cols., 2005). También estamos comenzando a examinar los precursores de la atención ejecutiva, incluso en niños más jóvenes, con el objetivo de determinar si hay un período sensible durante el cual las intervenciones podrían resultar más efectivas.

Ya hay cierta evidencia en la bibliografía con niños mayores que sufren el trastorno de déficit de atención con hiperactividad (TDAH) de que usar métodos de entrenamiento de la atención puede producir una mejora en la capacidad de concentrarse y en la inteligencia general (Kerns, Esso y Thompson, 1999; Klingberg, Forssberg y Westerberg, 2002; Shalev, Tsal y Mevorach, 2003). Como resultado, también estamos trabajando con otros grupos para llevar a cabo estos ejercicios en niños con problemas relacionados con el aprendizaje, como el TDAH y el autismo. Estos proyectos examinarán si los programas son eficaces con niños que presentan dificultades especiales con la atención como parte de su trastorno. También esperamos que algunos niños en edad preescolar adopten el entrenamiento de la atención como parte específica de su plan de estudios preescolar. Ello permitiría el entrenamiento durante períodos más prolongados y el estudio de otras formas de entrenamiento, como podría ocurrir en los grupos sociales (Mills y Mills, 2000, véase también Van Geert y Steenbeek, este libro).

Si bien aún no sabemos si nuestro programa específico es óptimo, creemos que la evidencia que hemos obtenido para el desarrollo de redes cerebrales específicas durante la primera infancia proporciona un fuerte fundamento para continuar intentando ver

si podemos mejorar las capacidades atencionales de los niños. Además, sería posible determinar cuán bien dichos métodos podrían generalizarse para el aprendizaje de la gran variedad de habilidades que deben adquirirse durante el período escolar.

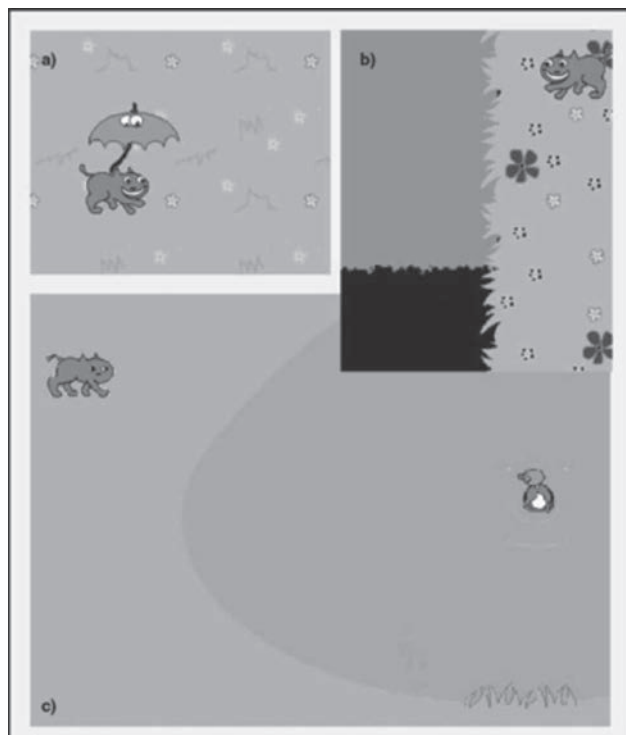


Figura 9.2 Ejercicios de rastreo. (a) La tarea del niño es colocar el gato debajo de un paraguas que se mueve a fin de evitar la lluvia; una vez que se atrapa el paraguas, el niño tiene que mantener el gato debajo del paraguas mientras este continúa moviéndose; (b) El niño mueve el gato hacia el césped para evitar el barro. A lo largo de las pruebas, la cantidad de césped se reduce, y el barro aumenta hasta que se requiere una considerable concentración por parte del niño para mover el gato a la sección con pasto; (c) El niño mueve el gato para interceptar el pato cuando este sale del estanque. Como el pato siempre nada en línea recta, en este ejercicio, el niño puede aprender a predecir de qué sitio del estanque saldrá.

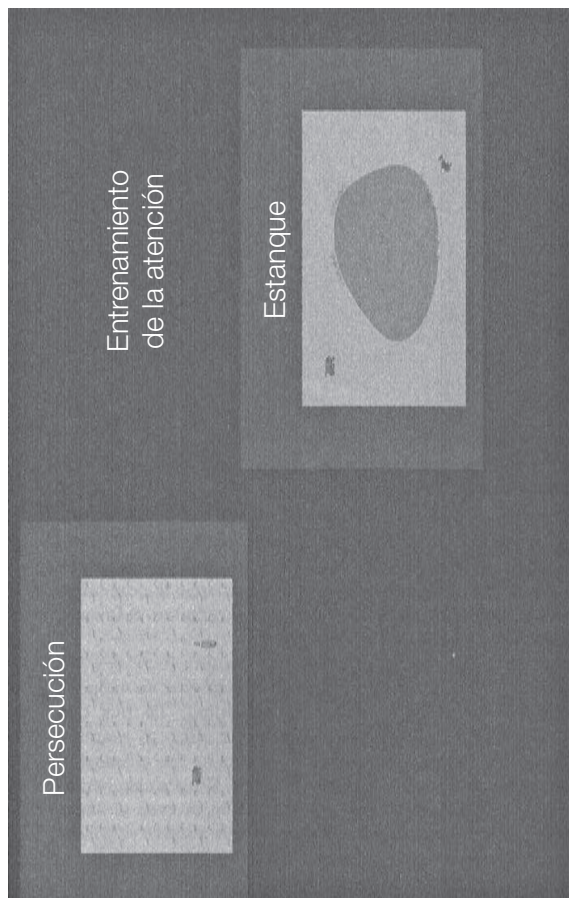


Figura 9.3 Ejercicios de atención visual y de resolución de conflictos. (a) Ejercicio de igualación a la muestra. El niño debe seleccionar la imagen de la pizarra marrón que sea igual a la muestra que se halla en la esquina superior izquierda. La dificultad de la igualación a la muestra aumenta a lo largo de las pruebas haciendo que las imágenes que se comparan sean más parecidas. En niveles avanzados, la imagen de muestra es eliminada de la pantalla, y el niño tiene que memorizarla a fin de seleccionar la imagen correcta correspondiente; (b) Ejercicio de resolución de conflictos: El niño tiene que elegir el grupo que tenga más números. En estudios congruentes, como el que se ilustra, el grupo más numeroso está conformado por números de mayor valor. En estudios incongruentes, el grupo más numeroso está conformado por números de menor valor; (c) Ilustración de la retroalimentación visual para completar una serie de pruebas de igual dificultad.



Figure 9.4 Ilustra el alto nivel de concentración de una niña de cuatro años durante el entrenamiento de la atención.

Referencias

- Andersen, R. A. (1989). «Visual eye movement functions of the posterior parietal cortex», *Annual Review of Neuroscience*, 12, 377-403.
- Beauregard, M., Levesque, J. y Bourgouin, P. (2001). «Neural correlates of conscious self-regulation of emotion», *Journal of Neuroscience*, 21, RC 165.
- Blair, R. J. R., Morris, J. S., Frith, C. D., Perrett, D. I. y Dolan, R. J. (1999). «Dissociable neural responses to facial expression of sadness and anger», *Brain*, 122, 883-893.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S. y Cohen, J. D. (2001). «Conflict monitoring and cognitive control», *Psychological Review*, 108, 624-652.
- Bush, G., Luu, P. y Posner, M. I. (2000). «Cognitive and emotional influences in the anterior cingulate cortex», *Trends in Cognitive Science*, 4/6, 215-222.
- Carlson, S. T. y Moses, L. J. (2001). «Individual differences in inhibitory control in children's theory of mind», *Child Development*, 72, 1032-1053.
- Clohessy, A. B., Posner, M. I. y Rothbart, M. K. (2001). «Development of the functional visual field», *Acta Psychologica*, 106, 51-68.

- Corbetta, M. y Shulman, G. L. (2002). «Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain», *Nature Neuroscience Reviews*, 3, 201-215.
- Driver, J., Eimer, M. y Macaluso, E. (2004). «Neurobiology of human spatial attention: Modulation, generation, and integration», en N. Kanwisher y J. Duncan (comps.), *Attention and Performance XX: Functional Brain Imaging of Visual Cognition* (págs. 267-300), Oxford, Oxford University Press.
- Duncan, J., Seitz, R. J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H., Ahmed, A., Newell, F. N. y Emslie, H. (2000). «A neural basis for general intelligence», *Science*, 289, 457-460.
- Ellis, L. K., Rothbart, M. K. y Posner, M. I. (2004). «Individual differences in executive attention predict self-regulation and adolescent psychosocial behaviors», *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1-21, 331-340.
- Fan, J., Flombaum, J. I., McCandliss, B. D., Thomas, K. M. y Posner, M. I. (2003). «Cognitive and brain mechanisms of conflict», *NeuroImage*, 18, 42-57.
- Fan, J., Fossella, J., Sommer, T. y Posner, M. I. (2003). «Mapping the genetic variation of executive attention onto brain activity», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, EE. UU., 100, 7406-7411.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, M. y Posner, M. I. (2002). «Testing the efficiency and independence of attentional networks», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 340-347.
- Fan, J., Wu, Y., Fossella, J. y Posner, M. I. (2001). «Assessing the heritability of attentional networks», *BioMed Central Neuroscience*, 2, 14.
- Fossella, J., Sommer, T., Fan, J., Wu, Y., Swanson, J. M., Pfaff, D. W. y Posner, M. I. (2002). «Assessing the molecular genetics of attention networks», *BMC Neuroscience*, 3, 14.
- Gerardi-Caulton, G. (2000). «Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24-36 months of age», *Developmental Science*, 3/4, 397-404.
- Haith, M. M., Hazan, C. y Goodman, G. S. (1988). «Expectation and anticipation of dynamic visual events by 3.5 month-old babies», *Child Development*, 59, 467-479.
- Karnath, H-O., Ferber, S. y Himmelbach, M. (2001). «Spatial awareness is a function of the temporal not the posterior parietal lobe», *Nature*, 411, 95-953.

- Kaufman, A. S. y Kaufman, N. L. (1990). *Kaufman Brief Intelligence Test-Manual Circle Pines*, Minnesota, American Guidance Service.
- Kerns, K. A., Esso, K. y Thompson, J. (1999). «Investigation of a direct intervention for improving attention in young children with ADHD», *Developmental Neuropsychology*, 16, 273-295.
- Klingberg, T., Forssberg, H. y Westerberg, H. (2002). «Training of working memory in children with ADHD», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781-791.
- Kochanska, G. (1995). «Children's temperament, mothers' discipline, and security of attachment: Multiple pathways to emerging internalization», *Child Development*, 66, 597-615.
- Kochanska, G., Murray, K., Jacques, T. Y., Koenig, A. L. y Vandegeest, K. A. (1996). «Inhibitory control in young children and its role in emerging internationalization», *Child Development*, 67, 490-507.
- McCandliss, B. D., Sandak, R., Beck, I. y Perfetti, C. (2003). «Focusing attention on decoding for children with poor reading skills: A study of the Word Building intervention», *Scientific Studies of Reading*, 7(1), 75-105.
- MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A. y Carter, C. S. (2000). «Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control», *Science*, 288, 1835-1838.
- Marrocco, R. T. y Davidson, M. C. (1998). «Neurochemistry of attention», en R. Parasuraman (comp.), *The Attention Brain* (págs. 35-50), Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Mills, D. y Mills, C. (2000). *Hungarian Kindergarten Curriculum Translation*, London Mills Production Limited.
- Ochsner, K. N., Kosslyn, S. M., Cosgrove, G. R., Cassem, E. H., Price, B. H., Nierenberg, A. A. y Rauch, S. L. (2001). «Deficits in visual cognition and attention following bilateral anterior cingulotomy», *Neuropsychologia*, 39, 219-230.
- Posner, M. I. (1980). «Orienting of attention», VII Conferencia de Sir F. C. Bartlett, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I. y Petersen, S. E. (1990). «The attention system of the human brain», *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M. I. y Raichle, M. E. (1994). *Images of Mind*, Scientific American Books.
- Posner, M. I. y Rothbart, M. K. (2007). *Educating the Human Brain*, Washington DC, APA.

- Posner, M. I., Rothbart, M. K. y Sheese, B. E. (2007). «Attention genes», *Developmental Science*, 10, 24-29.
- Ramón y Cajal, S. (1937). *Recollection of My Life*, Filadelfia, American Philosophical Society.
- Rothbart, M. K., Ahadi, S. A. y Hershey, K. (1994). «Temperament and social behavior in children», *Merrill-Palmer Quarterly*, 40, 21-39.
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Pappert, L. y Posner, M. I. (2004). «Development of attentional networks in childhood», *Neuropsychologia*, 42, 1028-1040.
- Rueda, M. R., Fan, J. y Posner, M. I. (2003). «Development of the time course for resolving conflict», Póster presentado en la *Cognitive Neuroscience Society*.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B., Saccamanno, L. y Posner, M. I. (2005). «Training, maturation and genetic influences on the development of executive attention», *Proc. U. S. National Acad. of Sciences*, 102, 14931-14936.
- Rumbaugh, D. M. y Washburn, D. A. (1995). «Attention and memory in relation to learning: A comparative adaptation perspective», en G. R. Lyon y Krasengor, N. A. (comps.), *Attention, Memory and Executive Function* (págs. 199-219), Baltimore, Maryland, Brookes Publishing Co.
- Semrud-Clikeman, M., Nielsen, K. H. y Clinton, A. (1999). «An intervention approach for children with teacher and parent-identified attentional difficulties», *Journal of Learning Disabilities*, 32, 581-589.
- Shalev, L., Tsai, Y. y Mevorach, C. (2003). «Progressive attentional training program: Effective direct intervention for children with ADHD», *Proceedings of the Cognitive Neuroscience Society*, Nueva York, págs. 55-56.
- Simon, H. A. (1969). *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Thorndike, E. L. (1903). *Educational Psychology*, Nueva York, Teachers College.
- Van Veen, V. y Carter, C. S. (2002). «The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 593-602.
- Venter, J. C., Adams, M. D., Myers, E. W., Li, P. W., Mural, R. J. y cols., (2001). «The sequence of the human genome», *Science*, 291, 1304-1335.
- Washburn, D. A. (1994). «Stroop-like effects for monkeys and humans: Processing speed or strength of association?», *Journal of Psychological Science*, 5(6), 375-379.

Desarrollo del cerebro: enfoque de las imágenes funcionales en el aprendizaje y las ciencias educativas

Hideaki Koizumi

Introducción

Existe una gran diferencia entre el mero aprendizaje y la verdadera educación. El mero aprendizaje supone una simple adaptación a señales ambientales, lo cual tiene un prototipo en los mecanismos de impronta de las aves. La segunda se encuentra solo en los seres humanos, donde los procesos genéticos y epigenéticos interactúan para añadir y controlar nuevos estímulos y nueva información. Koizumi busca usar técnicas de imágenes cerebrales para construir el conocimiento del funcionamiento cerebral a fin de mejorar la verdadera educación acerca de cuestiones humanas importantes, tales como el odio y el amor, así como también la física y la biología. Una técnica utilizada por primera vez por Koizumi es la topografía óptica, una técnica de imágenes cerebrales no invasiva que usa la tecnología de infrarrojo cercano para evaluar la activación del cerebro en lactantes y en niños, y también en adultos, ancianos y pacientes con daño cerebral. Un tema que esta técnica ha iluminado es la plasticidad del cerebro de los lactantes, incluida la habilidad de diferenciar el lenguaje de otros sonidos, y la lengua materna de otra lengua. Esta tecnología es prometedora a los fines educativos, pues no requiere que los niños permanezcan por completo quietos para tomar las imágenes y puede usarse en ámbitos relativamente naturales, en contraste con otras técnicas de imágenes cerebrales.

Los compiladores

En el siglo xx, la metodología moderna del reduccionismo, que fue inicialmente defendida por Descartes en el siglo xvii, ha llevado a un notable éxito, en especial en la ciencia y la tecnología. Sin embargo, en el siglo xxi, creo que las síntesis de las disciplinas minuciosamente diferenciadas producidas por el ahora extenso reinado del reduccionismo se volverán muy importantes. La última mitad del siglo xx presencié algunos pasos iniciales en esta dirección, con la multidisciplinariedad como eslogan para ubicar a las personas de diversos campos bajo un mismo techo. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que esto no necesariamente construye puentes (Bruer, este libro) ni una fusión que conduzca a la integración (Rothschild, 1996; Koizumi, 1999a). La integración requiere procesos dinámicos. Denomino el concepto y la operación de dichos procesos dinámicos «transdisciplinariedad» (Koizumi, 1995, 1996a, 1999a, 2000a, 2001). Este concepto puede abreviarse como TD. En el contexto de la TD, la integración es el proceso de obtener nuevas dimensiones a partir de la colaboración multidisciplinaria fusionando las diferentes disciplinas en forma dinámica y tendiendo puentes entre ellas. El concepto está resumido en la Figura 10.1.

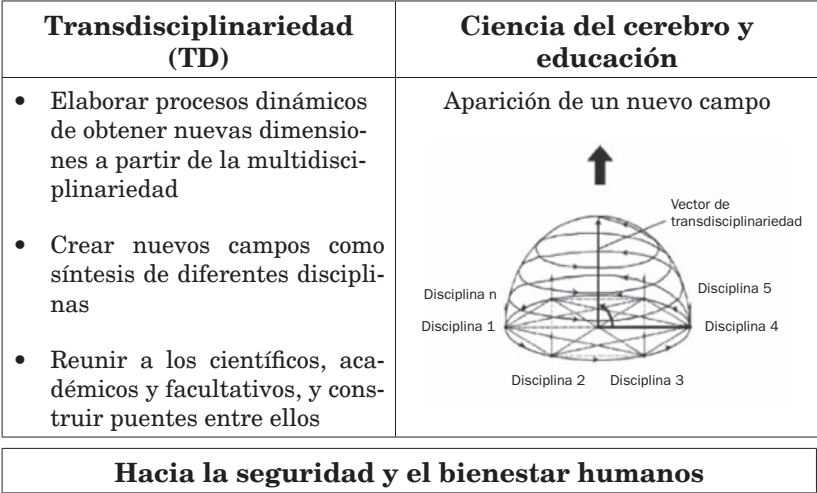


Figura 10.1 Transdisciplinariedad: síntesis sobre el reduccionismo.

La descripción se basa en una analogía con el acoplamiento de momentos angulares de los estados de espín de la mecánica cuántica. Los programas de Japón: Desarrollo del cerebro y Ciencia del cerebro y educación constituyen un campo transdisciplinario embrionario representativo. Este novedoso campo académico ha estado proporcionando sitios para la generación de coherencia entre las diversas disciplinas pertinentes dentro de un conjunto de programas nacionales que comenzó en el año 2000 (Koizumi, 1995, 1996b, 2000b, 2000c, 2003b, 2004b).

Las bases del aprendizaje y de la educación

El universo y la vida

Cuando consideramos la biosfera de la Tierra, podríamos considerar que está impulsada por el gran motor térmico formado entre el Sol y el universo más amplio. La biosfera está bañada por fotones del Sol de relativamente alta energía y baja entropía y, a su vez, emite fotones de relativamente baja energía y alta entropía al espacio. Entre otras cosas, este gran motor térmico impulsa la circulación del agua global y los ciclos de vida dentro de la biosfera. En este contexto, la definición de vida como un sistema que se autorreproduce y que usa energía para producir neguentropía es en particular resonante.

Se piensa que el *big bang* sucedió hace unos 13 500 millones de años. No podemos saber nada antes de entonces; aquí, tenemos una de las limitaciones básicas de la ciencia. El análisis isotópico de los meteoritos indica que el sistema solar nació hace unos 4600 millones de años. Sobre la base del análisis de fósiles, se cree que la vida apareció hace alrededor de 3800 millones de años. Desde entonces, la información que adapta la vida al medio ambiente se ha estado acumulando en los genes a lo largo de muchas generaciones. El sistema nervioso central apareció hace unos 300 millones de años y ha evolucionado en forma notable desde ese momento (Sagan, 1977; Britten y cols., 1969). La característica revolucionaria de un sistema nervioso central en términos del procesamiento de información para la adaptación es que el aprendizaje y, por lo tanto, la adaptación, puede tener lugar en una generación. La relación entre los procesos genéticos y epigenéticos es la clave para lograr una perspectiva más científica de la educación (Koizumi, 1996b).

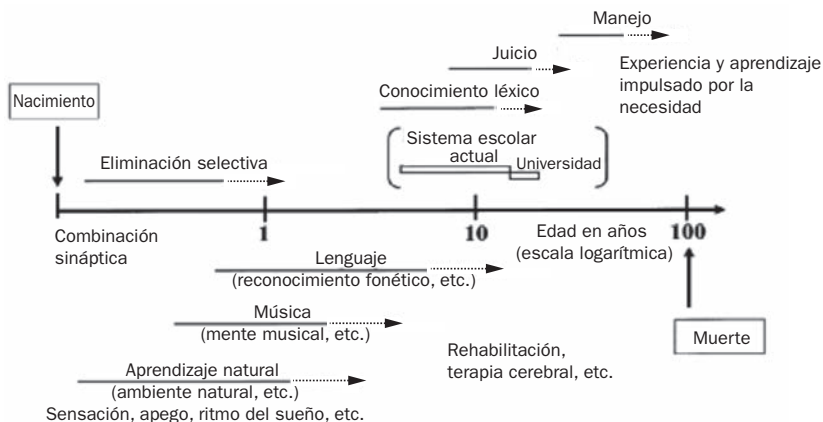
Definiciones biológicas del aprendizaje y de la educación

Desde el punto de vista psicológico, la impronta es el ejemplo arquetípico del aprendizaje. En este fenómeno, un ave que acaba de romper el cascarón, en general, considera que el primer objeto en movimiento que ve es su «madre». La impronta debe tener lugar dentro de un período crítico de hasta 24 horas después del nacimiento (Hess, 1959).

En el caso de gansos salvajes, entre otras especies, otra conducta observada incluye la migración; el ave lo hace siguiendo a sus padres. Sin embargo, un ave incubada en forma artificial, en general, no tendrá forma de aprender cómo migrar. En un trabajo famoso, Lishman logró hacer una impronta con una aeronave liviana en gansos incubados artificialmente y luego los guió desde el norte de Canadá hasta los Estados Unidos (Lishman, 1997). Una vez que se les enseña a las aves, pueden migrar en forma independiente al año siguiente. El descubrimiento de que la migración es un comportamiento aprendido fue importante en términos de nuestro conocimiento del aprendizaje y la educación.

Si bien la diferencia en la disposición secuencial entre el ADN de los seres humanos y el de los chimpancés es solo de alrededor del 1%, los investigadores que estudian los primates han descubierto que los chimpancés aprenden por imitación, pero nunca se educan entre sí (Goodall, 2001; Matsuzawa, 2003).

Hace varios años, noté que Immanuel Kant, el gran filósofo, mencionó un interesante experimento en su «Nota sobre la Conferencia de Pedagogía», publicada después de su muerte (Kant, 1803). Puso un huevo de gorrión entre varios huevos de canario en un nido de canario. Kant descubrió que obtuvo un gorrión que cantaba y notó que los padres parecían estar activamente instruyendo a la cría. Este experimento es muy similar a los «experimentos de separación» de ornitología, el primero de los cuales se llevó a cabo en la década de los sesenta. Más recientemente, los ornitólogos han confirmado que el ave padre tiene el rol de enseñar a cantar a sus pichones.



Fuente: Koizumi, H., *Seizon and Life Sci.* (1998).

Figura 10.2 Aprendizaje y educación durante la vida. Sugerencias para un plan de estudios basado en las etapas de desarrollo.

El punto de vista de la biología hace posibles nuevas definiciones del aprendizaje y de la educación (véase Fischer, este libro); el aprendizaje es el proceso de hacer conexiones neuronales en respuesta a estímulos ambientales externos, mientras que la educación es el proceso de controlar o de añadir estímulos y de inspirar la voluntad de aprender. Estos conceptos son abarcadores y cubren toda la vida humana (Koizumi, 2000c, 2004b).

La Figura 10.2 muestra el aprendizaje y el desarrollo del cerebro a lo largo de la vida. La escala de tiempo es logarítmica. La figura incluye algunas sugerencias tentativas para un plan de estudios basado en períodos críticos y sensibles (Koizumi, 1999a).

Sinaptogénesis y eliminación

Como extensión de los primeros estudios de las estructuras columnares de la corteza visual primaria llevados a cabo por los ganadores del premio Nobel, Hubel y Wiesel, muchos investigadores de la década de los setenta estudiaron el período crítico de la

formación de estas estructuras (Stryker y cols., 1978). Si un gatito es criado en un ambiente donde el único estímulo visual externo es proporcionado por rayas verticales, se vuelve incapaz de ver rayas horizontales y permanece así el resto de su vida. Si los estímulos del ambiente no incluyen líneas horizontales, las columnas responsables de las líneas horizontales desaparecen. Por lo tanto, incluso la formación del sistema visual en el cerebro es atribuible a un proceso de aprendizaje que tiene un período crítico (Singer, este libro).

Ocurren cosas similares con las columnas de dominancia ocular en la corteza visual humana. Una consecuencia clínica crucial del conocimiento del desarrollo de la columna es que la visión se debilita si un ojo se cubre con un parche durante la infancia. Ahora, los oftalmólogos recomiendan mucho que los lactantes, en los primeros 18 meses de vida, nunca usen parches para los ojos.

Las señales entran en el cuerpo de una neurona desde muchas dendritas, mientras que las señales de salida lo hacen por el axón. Un gran exceso de neuronas es preparado por la información genética y luego es eliminado durante la etapa fetal. Enormes cantidades de sinapsis son preparadas durante la etapa neonatal y luego son eliminadas durante la mayor parte de la niñez. En el caso del área visual primaria humana, el número de sinapsis llega a su máximo alrededor de los ocho meses después del nacimiento (Huttenlocher, 1990). Este proceso de selección neuronal en los individuos lleva a la adaptación ambiental y, por ello, un gato criado en un ambiente visual de rayas verticales termina siendo incapaz de ver rayas horizontales.

La mielinización, proceso mediante el cual una capa de mielina se forma alrededor de los axones, es otro factor que debemos considerar. Este proceso brinda una mejora aproximadamente de cien veces en las velocidades de transmisión de señales. La orden de mielinización es programada por los genes. Flechsig descubrió esto hace alrededor de cien años y creó una imagen del cerebro que describía esta orden (Flechsig, 1898). Algunas áreas ya están mielinizadas en la etapa prenatal. La mielinización continúa en otras áreas y sigue hasta cerca de los 20 años de edad en el área para la asociación prefrontal. Esta orden de desarrollo de las áreas funcionales podría aplicarse a la optimización de los planes de estudio (Koizumi, 1999a).

Importancia de la medición no invasiva de la función cerebral

Los métodos no invasivos de imágenes de la función cerebral son esenciales al aplicar el concepto de «Ciencia del cerebro y educación» a los problemas prácticos. Actualmente, tenemos tres métodos no invasivos para tomar imágenes de las funciones cerebrales de orden superior: las imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf) (Ogawa y cols., 1992; Yamamoto, E. y cols., 1992), la magnetoencefalografía (MEG) (Brenner y cols., 1978) y la topografía óptica (TO) (Maki y cols., 1995; Yamashita y cols., 1996; Koizumi y cols., 1999b). Debido a que cada método tiene tanto méritos como limitaciones, en ocasiones usamos los tres en forma complementaria.

El principio de la topografía óptica

En la topografía óptica, usamos luz infrarroja para obtener imágenes de funciones cerebrales de orden superior. Publicamos el primer trabajo mundial sobre topografía óptica en 1995 y hemos estado desarrollando el método desde entonces (Maki y cols., 1995; Koizumi y cols., 1999b, 2003a; Kennan y cols., 2002; Taga y cols., 2003). Se coloca una matriz de fibras ópticas flexibles de 1 mm de diámetro entre las raíces del pelo, en el cuero cabelludo. La luz infrarroja cercana entra en el cerebro y es afectada por los cambios en la concentración de los niveles oxi-, desoxi- y todos los niveles de hemoglobina que son inducidos por la actividad neuronal. Las señales de los fotodetectores luego se analizan para mapear estos cambios. Lo atractivo de este método (EIC, espectroscopia de infrarrojo cercano) es que puede usarse para examinar a sujetos en condiciones naturales (Petitto, este libro).

La seguridad del análisis de la función cerebral es muy importante, puesto que queremos pruebas que sean aplicables a todos los sujetos humanos y, en particular, a bebés y a niños. Las energías de los enlaces químicos de las moléculas que forman el tejido humano están en el rango de varios electronvoltios. Por lo tanto, si usamos fotones a menos de un electronvoltio, en principio el método debería ser seguro, a excepción de posibles efectos térmicos. La topografía óptica es completamente segura, puesto que la energía de los fotones está dentro de este rango, y se demostró que

los efectos térmicos son insignificantes (Ito y cols., 2000). La IRM funcional también es segura, por lo menos desde el punto de vista de la energía de los fotones. Sin embargo, en este caso debemos ser cuidadosos acerca de los rápidamente cambiantes gradientes de los campos magnéticos, así como también de la fuerza del campo estático.

Imágenes de la función cerebral en neonatos y en lactantes

La topografía óptica puede brindarnos imágenes de la actividad cerebral durante actividades específicas. En el acto de escribir, por ejemplo, la activación se ve en las áreas de Broca y de Wernicke (Figura 10.3) (Yamamoto y cols., 1999). El área de Broca, que se localiza en el lóbulo frontal izquierdo, se utiliza para la generación de palabras, mientras que el área de Wernicke, que se localiza en el lóbulo temporal izquierdo, se utiliza para la comprensión de las palabras.

También hemos hallado ejemplos de la sorprendente plasticidad del cerebro del lactante. En uno de los más notables de estos, una bebé de un año solo tenía una pequeña parte de la totalidad de la corteza cerebral normal para esa edad, debido a un accidente en la etapa fetal. Los grandes hospitales habían diagnosticado que era ciega y sorda solo sobre la base de los datos de la IRM y no le hicieron más exámenes. Sin embargo, sus padres pensaban que podía ver hasta cierta medida. A pedido de ellos, usamos topografía óptica para examinarla, con la ayuda de médicos. Los resultados mostraron que la parte residual de la corteza cerebral, en efecto, estaba siendo activada por estímulos visuales (Kogure y cols., 1997).

Hemos utilizado topografía óptica para estudiar la recuperación funcional en los cerebros de lactantes y, nuevamente, hallamos una increíble plasticidad: por ejemplo, movimiento a pesar de una cápsula interna casi por completo defectuosa, habla a pesar de un daño severo del hemisferio izquierdo y movimiento complejo a pesar de una falta casi completa de cerebelo. Llegamos al concepto de «desarrollar el cerebro» a través de estas y de otras observaciones de la plasticidad del cerebro del lactante. Este trabajo nos llevó a ver que el proceso de desarrollar el cerebro difiere del de la rehabilitación, que se encarga de la recuperación de funciones perdidas (Koizumi, 2000c).

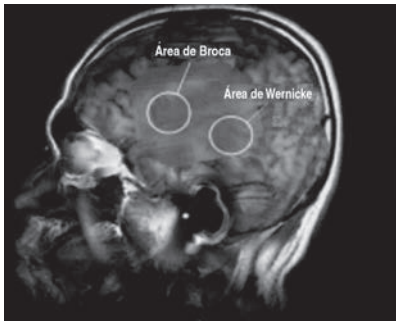
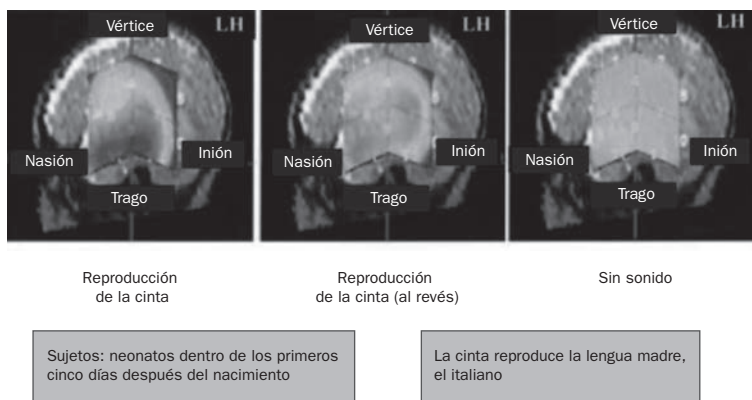
	Imagen funcional a través de topografía óptica
	Imagen anatómica a través de IRM Área de Broca en el lóbulo frontal izquierdo: generación de palabras Área de Wernicke en el lóbulo temporal izquierdo: comprensión semántica En colaboración con Iwata, M., y cols., Tokyo Women's Medical University.

Figura 10.3 Activación de las áreas del lenguaje.

La topografía óptica puede usarse para observar sin riesgos la actividad cerebral de los neonatos. Por supuesto, esto es difícil con la IRMf o la MEG, porque los bebés no permanecen quietos durante la medición. En Francia, colaboramos con el grupo de Jacques Mehler para examinar a los neonatos dentro de los cinco días después del nacimiento, luego de obtener la aprobación del Comité Nacional de Ética de Francia. La lengua materna en estos casos era, por supuesto, el francés. Los neonatos fueron expuestos al francés leído por un reportero. Encontramos que las áreas alrededor de la corteza acústica se activaban más fuertemente por el habla francesa que por otros sonidos.

Un grupo que incluyó a muchos de los mismos trabajadores realizó pruebas más precisas en Italia. Los resultados se publicaron recientemente (Peña y cols., 2003). Los sujetos, otra vez, eran neonatos dentro de los primeros cinco días después del nacimiento, pero la lengua materna, en este caso, era el italiano (Figura 10.4). Oír el idioma italiano produjo una mayor activación que oír el mismo discurso al revés o el silencio. Por supuesto, la cinta al revés contiene los mismos componentes de sonido, es decir, los espectros de frecuencia y de energía, pero ninguna palabra o lengua identificable. También observamos que, incluso en los neonatos, la lateralidad de la función del hemisferio izquierdo se demuestra en respuesta al habla (véase también Petitto, este libro).

Los neonatos podrían estar respondiendo a los ritmos y las entonaciones de la lengua materna. Además, una de dos hipótesis puede explicar estos resultados. Una es que los neonatos podrían aprender a identificar la lengua materna durante la etapa prenatal, en el vientre de sus madres. Experimentos con imágenes dinámicas de ultrasonido en tres dimensiones han mostrado que un feto puede responder a sonidos que pasan a través del cuerpo de su madre. La otra hipótesis es que los neonatos podrían tener una capacidad innata de responder específicamente al lenguaje natural. Planeamos continuar con pruebas de esta clase, y nuestro próximo experimento estudiará la lengua materna frente a lenguas extranjeras. Esto debería indicar cuál de las dos hipótesis es la correcta.



En colaboración con el grupo J. Mehler, Escuela Internacional Superior de Estudios Avanzados (Italia), *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* (2003).

Figura 10.4 Cómo el oír la lengua materna afecta la actividad cerebral de un neonato.

Emoción e inteligencia

Además de ser útil para aplicaciones médicas y para responder preguntas de desarrollo y de aprendizaje, la «Ciencia del cerebro y educación» podría ser importante para resolver problemas sociales que van de las discapacidades en el aprendizaje a la criminalidad, el abuso de niños, etcétera. Además, incluso podría ser posible una contribución a la paz mundial.

Cómo el cerebro humano encapsula la historia de la evolución

El cerebro evolucionó como capas nuevas formadas alrededor del tronco del encéfalo. El tronco del encéfalo mantiene la vida, el sistema límbico nos da el impulso para vivir, y la neocorteza nos da el control para una vida mejor. La razón y el conocimiento están relacionados con la neocorteza, mientras que las emociones básicas están relacionadas con el sistema límbico. Nuestra vida y nuestra sociedad están construidas sobre el delicado equilibrio entre el sistema límbico y la neocorteza.

La descendencia evolutiva de los reptiles se separa en dos ramas. Una rama llega hasta los humanos a través de los terápsidos (reptiles mamíferos), que mucho más tarde fueron los monos, y, con el tiempo, simios como el protochimpancé. La otra rama llega a las aves a través de los dinosaurios. El sistema límbico y la neocorteza humanos están notablemente más evolucionados que los de los reptiles mamíferos. Sin embargo, incluso en comparación con el chimpancé, la corteza prefrontal humana es dos veces más grande, a pesar de tan solo el uno por ciento de diferencia en la disposición secuencial del ADN. La corteza prefrontal podría generar profundas emociones, tales como el amor y el odio.

Cómo cortar cadenas de odio

El mundo actual sufre de cadenas de odio. Uno de los problemas más serios es cómo cortar estas cadenas. Sobre este punto, me gustaría presentar un mensaje de Tokikuni Urushima, padre de Honen. Fue asesinado en 1141, en frente de Honen, de nueve años, en un ataque nocturno, a manos de un enemigo. Antes de morir, dijo estas palabras a su hijo: «Estoy sufriendo graves lesiones, pero sigo con vida. Cualquiera otra persona en la misma situación haría lo mismo. Si te pones a reflexionar, te darás cuenta de que nunca deberías odiar a tu enemigo. Si matas a tus enemigos, sus familias querrán matarte a ti. Entonces, esta cadena de odio nunca desaparecerá. Abandona la casa de inmediato y busca la solución última en ti mismo». Pasaron muchos años antes de que Honen se liberara de su angustia. Para él, la solución fue proclamar continuamente el eterno poder y la existencia de Amitabha, el bodhisattva de la compasión.

El padre de Honen consideraba profundamente la perspectiva del otro. Esto está muy relacionado con las «teorías de la mente».

En este sentido, una teoría de la materia es una capacidad de predecir el camino de una pelota voladora, por ejemplo, a través del procesamiento neuronal, mientras que una «teoría de la mente» es una capacidad de comprender las mentes de otras personas y de predecir sus pensamientos y sus respuestas. Esta capacidad es promovida a través de suficientes comunicaciones mientras los niños tienen alrededor de tres o cuatro años. Puesto que la falta de una «teoría de la mente» lleva a la incapacidad de entender las perspectivas de los demás, esta falta es la responsable de diversos problemas sociales.

Estudio longitudinal sobre el desarrollo de la corteza prefrontal humana

Comenzamos a estudiar el desarrollo de una «teoría de la mente» en el campo más amplio de la «Ciencia del cerebro y educación» midiendo el área prefrontal de niños de entre tres y cinco años. La Figura 10.5 muestra un ejemplo de una prueba del desarrollo de la memoria de trabajo. La topografía óptica fácilmente proporciona imágenes de la activación de la memoria de trabajo, incluso en niños pequeños (Tsujimoto y cols., 2004).

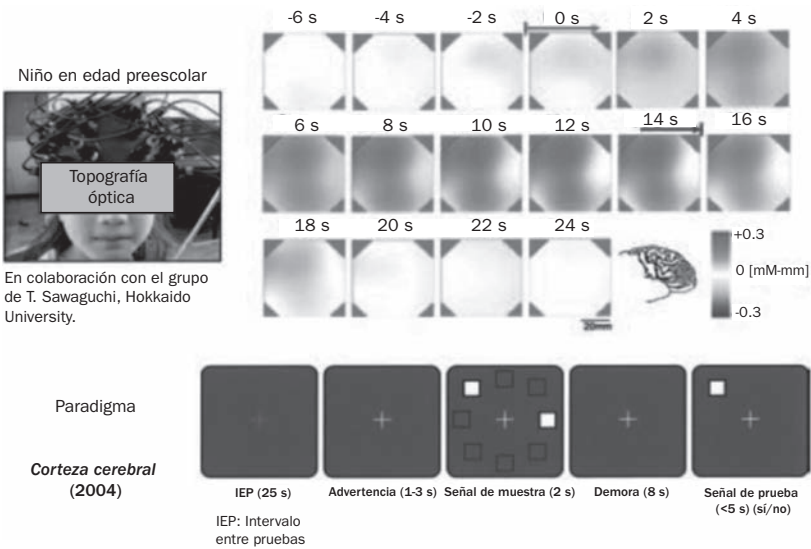


Figura 10.5 Activación de la memoria de trabajo en un niño.

Cuestiones éticas suscitadas por novedosas tecnologías del cerebro

Comunicación directa basada en el cerebro

La topografía óptica nos brinda una forma novedosa de comunicación basada en la observación directa de la actividad cerebral. Examinamos a una paciente con síndrome de enclaustramiento que sufría de esclerosis lateral amiotrófica (ELA). Su familia no había podido comunicarse con la paciente por más de dos años. Pensaban que ya no tenía conciencia, pues había permanecido en estado vegetativo durante mucho tiempo. Examinamos las funciones cerebrales, como la imaginación del movimiento, escuchar un discurso, la generación de palabras (imaginada), escuchar música y tareas de memoria de trabajo. La topografía óptica demostró actividad en cada caso. Pudimos demostrar que la paciente claramente tenía conciencia. Por lo tanto, le pedimos que imaginara apretar la mano izquierda para decir «sí» y que no imaginara nada para decir «no». Observamos una clara activación del área motora contralateral (hemisferio izquierdo) solo cuando su respuesta era «sí» (Haida y cols., 2000).

Neuroética

El resultado anterior plantea varios problemas éticos. En primer lugar, se demostró que por lo menos un ser humano tenía conciencia, a pesar de permanecer físicamente en un estado vegetativo. Incluso los médicos habían pensado que los pacientes con ELA que habían sufrido el síndrome de enclaustramiento durante mucho tiempo perderían la actividad cerebral en virtud de su falta de uso. El nuevo hallazgo derriba la suposición de la falta de conciencia, que nos fuerza a enfrentar los problemas de si los pacientes tienen derechos humanos o no y, si lo hacen, cómo garantizarles esos derechos. También plantea los nuevos problemas de si hacer cumplir legalmente la voluntad del paciente o no, y cómo, según los resultados de la medición directa del cerebro.

La neuroética se convertirá en un campo importante en el futuro cercano (véase Vidal, este libro). Las imágenes de la función cerebral no invasivas podrían usarse para quitar a las personas su

privacidad a causa de su potencial de revelar la mente individual. Por ejemplo, los gustos y los disgustos personales podrían verificarse usando la IRMf para observar la activación del cuerpo amigdalino. Asimismo, la verdad o la falsedad de las afirmaciones podrían confirmarse midiendo la activación de los sistemas de la memoria. Por lo tanto, será necesaria una forma novedosa de la neuroética, junto con comités para su administración. Ahora estoy trabajando para establecer una investigación neuroética y un sistema de comités de ética en el ámbito nacional.

La ciencia del cerebro y la educación en el siglo XXI

El cuidado de la salud en apoyo de las funciones cerebrales

Aquí consideramos cómo la informática futura afectará nuestra vida. Así como la conveniencia de los automóviles y los ascensores, por ejemplo, echa a perder los músculos de nuestras piernas, es posible que la informática eche a perder nuestro cerebro. Como muestra la Figura 10.6, nuestra memoria de trabajo se localiza en la corteza prefrontal (área 46) y se activa fuertemente durante la aritmética mental, pero no en los cálculos que se hacen usando una calculadora. Recientemente, la neurociencia ha demostrado que esta memoria de trabajo es importante en la recuperación de cosas memorizadas. Una memoria de trabajo dañada causa una forma seria de olvido, incluso en los adultos más jóvenes (de entre 20 y 30 años). A medida que las posibilidades en la informática crecen, necesitaremos formas de mantener sano nuestro cerebro. Adoptar este punto de vista también es importante en la prevención y la intervención de la demencia senil.

El programa Ciencia del cerebro y educación, en Japón

En el año 2000, coordiné un foro transdisciplinario de cuatro días sobre *Desarrollo del cerebro: la ciencia del aprendizaje y la educación*, con el patrocinio de la Corporación de Ciencia y Tecnología de Japón y la Agencia de Ciencia y Tecnología de Japón. Este foro se celebró a fines del siglo xx como la culminación de varios años de trabajo en este campo (desde 1995) y como parte de

un esfuerzo más amplio de pronosticar los desarrollos y los efectos de la ciencia y la tecnología a principios del siglo XXI. Como consecuencia de este foro, el programa Ciencia del cerebro y educación se estableció como un programa nacional en 2001. Esta fue la primera iniciativa insignia del nuevo Ministerio de Educación, Cultura, Deportes, Ciencia y Tecnología (MEXT), que se estableció combinando el anterior Ministerio de Educación con una Agencia de Ciencia y Tecnología. Me he desempeñado como director de este programa desde su fundación. Actualmente, tenemos doce proyectos, seleccionados a partir de las respuestas a un anuncio público. Los resultados hasta la fecha han sido muy interesantes.

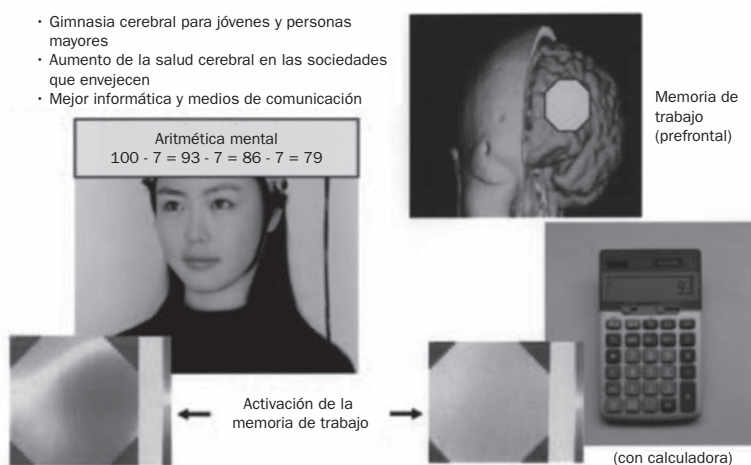


Figura 10.6 Activación de la corteza prefrontal durante la aritmética mental.

Finalmente, me gustaría mencionar la razón más básica por la que la ciencia del cerebro y la educación son importantes en el siglo XXI. Como los Curie afirmaron cuando ganaron el premio Nobel, al cabo de su discurso, «La ciencia y la tecnología son neutrales, de modo que si se aplican para fines buenos o malos depende por completo de la humanidad». Creo que la educación debería tener prioridad sobre la ciencia y la tecnología. El trabajo basado en la evidencia dentro de los campos definidos por «Desarrollo del cerebro» y «Ciencia del cerebro y educación» debería brindar por lo me-

nos algunas claves para una mayor seguridad y bienestar humanos en el siglo **xxi** (Koizumi, 2004).

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi sincera gratitud a la Pontificia Academia de las Ciencias y a los organizadores, en particular a los profesores Antonio M. Battro, Kurt W. Fischer y Pierre Léna, por haberme dado la gran oportunidad de participar en el simposio.

Referencias

- Brenner, D., Lipton, J. y Williamson, S. J. (1978). «Somatically evoked magnetic fields of the human brain», *Science*, 199, 81-83.
- Britten, R. J. y Davidson, E. H. (1969). «Gene regulation for higher cells: A theory», *Science*, 165, 349-357.
- Flechsig, P. (1898). «Neue Untersuchungen über die Markbildung in den menschlichen Grosshirnlappen», *Neurol. Centralblatt*, 17, 977-996.
- Goodall, J. (2001). Comunicación privada.
- Haida, M., Shinohara, Y., Ito, Y., Yamamoto, T., Kawaguchi, F. y Koizumi, H. (2000). «Brain function of an ALS patient in complete locked-in state by using optical topography», *Search for Foundation of Science & Technology in the 21st Century: The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications* (Koizumi, H., comp.), 95-97, Hitachi Ltd., Tokio.
- Hess, E. H. (1959). «Imprinting: An effect of early experience, imprinting determines later social behavior in animals», *Science*, 130, 133-141.
- Huttenlocher, P. R. (1990). «Morphometric study of human cerebral cortex development», *Neuropsychologia*, 28, 517-527.
- Ito, Y., Kennan, R., Watanabe, E. y Koizumi, H. (2000). «Assessment of heating effects in skin during continuous wave near-infrared spectroscopy», *Journal of Biomedical Optics*, 5, 383-390.
- Kant, I. (1803). *Über Pädagogik*, «Herausgegeben von D. Friedrich Theodor Rink» [Immanuel Kants Werke, Herausgegeben von Ernst Cassirer, *Band VIII* (1992)].

- Kennan, R. P., Horovitz, S. G., Maki, A., Yamashita, Y., Koizumi, H. y Gore, J. C. (2002). «Simultaneous recording of event-related auditory oddball response using transcranial near-infrared optical topography and surface EEG», *NeuroImage*, 16, 587-592.
- Kogure, K., Yamashita, Y., Maki, A., Itagaki, H., Izumiyama, M. y Koizumi, H. (1997). «Functional near-infrared spectrography (fNIR) in the neurology ward», *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 17(S1) S555.
- Koizumi, H. (comp.) (1995). *Search for a Foundation of Science & Technology in the 21st Century: The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications*, Hitachi Ltd., Tokio.
- Koizumi, H. (1996a). «A trans-disciplinary approach through analytical science towards global sustainability and human well-being», *The Trans-disciplinary Forum on Science and Technology for the Global Environment: Environmental Measurement and Analysis* (Koizumi, H., comp.), 3-10, Japan Science and Technology Co., Tokio.
- (1996b). «The importance of considering the brain in environmental science», *The Trans-disciplinary Forum on Science and Technology for the Global Environment: Environmental Measurement and Analysis* (Koizumi, H., comp.), 128-132, Japan Science and Technology Co., Tokio.
- (1999a). «A practical approach to trans-disciplinary studies for the 21st century». *Journal of Seizon and Life Science*, 9B, 5-24.
- Koizumi, H., Yamashita, Y., Maki, A., Yamamoto, T., Ito, Y., Itagaki H. y Kennan, R. (1999b). «Higher-order brain function analysis by trans-cranial dynamic NIRS imaging», *Journal of Biomedical Optics*, 4, portada y 403-413.
- Koizumi, H. (2000a). «Trans-disciplinarity», *Search for Foundation of Science & Technology in the 21st Century: The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications*, Part II (Koizumi, H., comp.), 220-222, Hitachi Ltd., Tokio.
- (2000b). «The concept of “Developing the Brain”: A natural science for learning and education», *The Trans-disciplinary Symposium on the Frontier of Mind-Brain Science and Its Practical Applications*, Part II (Koizumi, H., comp.), 217-219, Hitachi Ltd., Tokio.

- (2000c). «Developing the brain: a natural science for learning and education», *The Trans-disciplinary Forum on «Developing the Brain: The Science of Learning and Education»* (Koizumi, H., comp.), Japan Science and Technology Co., Tokio.
- (2001). «Trans-disciplinarity», *Neuro-endocrinology Letters*, 22, 219-221.
- Koizumi, H., Yamamoto, T., Maki, A., Yamashita, Y., Sato, H., Kawaguchi, H. e Ichikawa, N. (2003a). «Optical topography: Novel applications and practical problems», *Applied Optics*, 42, 3054-3062.
- Koizumi, H. (2003b). «The concept of developing the brain, a natural science for learning and education», *Learning Therapy* (Kawashima, R. y Koizumi, H., comps.), 1-14, Tohoku University Press, Sendai.
- (2004a). «Searching for a new science of humanity», *Trends in Science (Gakujyutsu-no-doko: The Journal of the Science Council of Japan)*, 2, 32-45, Japan Science Support Foundation, Tokio. (En japonés).
- (2004b). «The concept of “Developing the Brain”: A new natural science for learning and education», *Brain & Development*, 26, 434-441.
- Lishman, W. A., Teets, T. L., Duff, J., Sladen, W. J. L., Shire, G. G., Goolsby, K., Bezner Kerr, W. A. y Urbanek, R. P. (1997). «A re-introduction technique for migratory birds: Leading Canada geese and isolation-reared sandhill cranes with ultralight aircraft», *Proc. North Am. Crane Workshop*, 7, 114-122.
- Maki, A., Yamashita, Y., Ito, Y., Watanabe, E., Mayanagi, Y. y Koizumi, H. (1995). «Spatial and temporal analysis of human motor activity using non-invasive NIR topography», *Medical Physics*, 22, 1997-2005.
- Matsuzawa, T. (2003). Comunicación privada.
- Ogawa, S., Tank, D. W., Menon, R., Ellermann, J. M., Kim, S. G., Merkle, H. y Ugurbil, K. (1992). «Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: Functional brain mapping with magnetic resonance imaging», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 5951-5955.
- Peña, M., Maki, A., Kovacic, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F. y Mehler, J. (2003). «Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth»,

- Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11702-11705.
- Rothschild, E. (1996). «Environmental measurement», *The Transdisciplinary Forum on Science and Technology for the Global Environment: Environmental Measurement and Analysis* (Koizumi, H., comp.), 11-21, Japan Science and Technology Co., Tokio.
- Sagan, C. (1977). *The dragons of eden: speculation on the evolution of human intelligence*, Random House, Nueva York.
- Stryker, M. P., Sherk, H., Lenventhal. A. G. y Hirsch, H. V. B. (1978). «Physiological consequences for the cat's visual cortex of effectively restricting early visual experience with oriented contours», *Journal of Neurophysiology*, 41, 896-909.
- Taga, G., Asakawa, K., Maki, A., Konishi, Y. y Koizumi, H. (2003). «Brain imaging in awake infants by near-infrared optical topography», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 100, 10722-10727.
- Tsujimoto, S., Yamamoto, T., Kawaguchi, H., Koizumi, H. y Sawaguchi, T. (2004). «Prefrontal cortical activation associated with visuospatial working memory in adults and pre-school children: An event-related optical topography study», *Cerebral Cortex*, 14, 703-712.
- Yamamoto, E., Takahashi, T., Takiguchi, K., Onodera, Y., Itagaki, H. y Koizumi, H. (1992). «Non-invasive brain functional analysis by using ultrafast magnetic resonance imaging», *Imaging and Information Technology*, 24, portada y 1466-1467.
- Yamamoto, T., Yamashita, Y., Yoshizawa, H., Maki, A., Iwata, M., Watanabe, E. y Koizumi, H. (1999). «Non-invasive measurement of language function by using optical topography», *SPIE (Journal of the International Society for Optical Engineering)*, 3597, 230-237.
- Yamashita, Y., Maki, A. y Koizumi, H. (1996). «Near-infrared topographic measurement system: Imaging of absorbers localized in a scattering medium», *Review of Scientific Instruments*, 67, 730-732.

PARTE III

EL CEREBRO, EL LENGUAJE
Y LA MATEMÁTICA

Tríptico del cerebro lector: evolución, desarrollo, patología y su intervención

Maryanne Wolf

Introducción

La propiedad más notable del cerebro humano es la capacidad de desarrollar nuevas conexiones y de establecer nuevas redes mediante la reorganización de estructuras neuronales preexistentes. A fin de inventar y de asimilar nuevas habilidades cognitivas, como la escritura y la lectura, los seres humanos han usado las estructuras cortical, subcortical y cerebelar ya producidas por la evolución biológica, como lo describe Dehaene en su capítulo. A nuestra especie le tomó varios milenios alcanzar la alfabetización general en la población, y hoy un niño necesita menos de una década de capacitación para adquirir fluidez en la lectura. Esta notable hazaña neurológica supone una impresionante coordinación de componentes perceptuales, atencionales, motores, lingüísticos y cognitivos, todos desempeñándose juntos a una gran velocidad. Cualquier problema dentro de estos componentes complejos o entre ellos puede producir interrupciones o demoras en el proceso de adquisición de la lectura, como en la dislexia del desarrollo. Wolf y sus colegas han creado un exitoso programa de intervención con múltiples partes (RAVE-O: Recuperación, Automaticidad, Vocabulario, Elaboración de la lengua y Ortografía) para mejorar la fluidez en la lectura, con componentes basados en la comprensión fundada en la investigación de los delicados y complejos procesos de lectura.

Los compiladores

La esencia del cambio intelectual en la evolución humana reciente no reside en el nacimiento de nuevas estructuras en nuestro cerebro, sino más bien en el extraordinario potencial del cerebro para reorganizar sus vías neuronales existentes. Debajo de la adquisición de cada nueva habilidad aprendida por nuestra especie, está la capacidad de reorganizar y forjar conexiones y circuitos por completo nuevos entre estructuras originalmente diseñadas para otros fines: la capacidad, por ejemplo, de ver un patrón visual, de hallar una palabra para un predador, de inferir que una huella augura peligro. La notable capacidad del cerebro humano para hacer conexiones originales dentro de sí mismo es la base neurológica de la mayoría de los avances e invenciones cognitivos de nuestra especie (véase Dehaene y Singer, este libro).

En ningún otro sitio esto es más evidente que en la historia del lenguaje escrito y en su desarrollo en el niño. La lectura o el lenguaje escrito representan uno de los avances más importantes de la evolución cognitiva de la especie. Tanto su estructura fisiológica como su desarrollo reflejan y recrean la capacidad intrínseca del cerebro para reorganizarse y para aprender a usar lo que se da genéticamente para ir más allá. El estudio del desarrollo de la lectura y de los factores que la hacen descarrilar ofrece a los neurocientíficos cognitivos un ejemplo soberbio para saber cómo aprende el cerebro una habilidad cognitiva evolutivamente reciente mediante la reorganización de estructuras neurológicas más antiguas.

Este capítulo describirá un programa de investigación que usa evidencia de la evolución, el desarrollo y la patología de la lectura para construir una conceptualización ampliada de la lectura y del fracaso en la lectura, en la dislexia del desarrollo. Una de las consecuencias más importantes de esta visión de tríptico del proceso de lectura es un enfoque nuevo y más amplio del tratamiento de problemas de lectura para niños que luchan por aprender a leer. El objetivo final de este capítulo es mostrar cómo una comprensión de la evolución, el desarrollo y la patología de la lectura es útil para el tratamiento y, al mismo tiempo, contribuye con nuestra comprensión de cómo aprende el cerebro.

Una visión particular de la lectura

Nadie fue concebido para leer. Los seres humanos están genéticamente programados para desempeñar una serie de funciones,

incluso aprender a hablar usando un conjunto altamente sofisticado de operaciones que contribuyen a la supervivencia y la prosperidad de nuestra especie. Sin embargo, aprender a leer no es parte de nuestro equipo genético. Más bien, leer representa una de las maravillas de la capacidad del cerebro humano de reorganizarse para aprender algo nuevo. En esencia, la lectura se basa en una reorganización de circuitos neuronales existentes en las regiones cortical, subcortical y cerebelar responsables de operaciones atencionales, perceptivas, lingüísticas, cognitivas y motoras. Todos estos procesos fueron originalmente diseñados para otras funciones que no son la lectura. La capacidad del cerebro humano de hacer nuevas conexiones entre estos procesos es la base fisiológica del acto de leer.

Por lo tanto, la estructura arquitectónica de la lectura es, en términos de Dehaene, un ejemplo primordial de «reciclaje neuronal» (véase el capítulo de Dehaene, en este libro). Cuando los seres humanos comenzaron a representar un objeto usando signos visuales abstractos, como en los dibujos de las cuevas, básicamente estaban reinstalando las conexiones entre los circuitos o vías neuronales existentes para procesos visuales y conceptuales. A medida que crecían las capacidades simbólicas (Deacon, 1997), los seres humanos aprendían a conectar estas mismas áreas a áreas responsables también de procesos lingüísticos. Sobre la base de este trío de conexiones, emergió una nueva habilidad: la de leer y transmitir una forma escrita de lenguaje que pudiera pasarse de generación en generación.

Percepciones desde la evolución de la escritura

Primeros sistemas logográficos

La historia primitiva de la evolución de la escritura se ubica en lugares exóticos, como Sumeria, Wadi el Hol y Creta. Llena de lagunas y de misterio, la historia puede relatarse desde muchas perspectivas. Una «historia cognitiva» será el tema de esta breve sección mientras consideramos cómo cada tipo de escritura primitiva exigió algo diferente de nuestro cerebro, comenzando con pequeñas fichas encerradas en duros sobres de arcilla.

Usadas entre 8000 a. C. y 4000 a. C., las primeras fichas eran pequeñas marcas sobre piezas de arcilla halladas en todo el

Cercano Oriente. Eran usadas como una especie de sistema de contabilidad por nuestros antepasados. Algunos investigadores, como Schmandt-Besserat (1992) las consideran la primera escritura o, como mínimo, las precursoras de la escritura. Como sea que se conceptualicen, las fichas representan, junto con los dibujos de las cuevas, el primer uso conocido de símbolos. Estos símbolos brindaron un registro permanente para nuestros antepasados, en este caso, al documentar el número de bienes comprados o vendidos. Lo que es más importante, la invención de estos símbolos reflejó el surgimiento de una nueva habilidad cognitiva humana: la *representación simbólica* (véase el importante trabajo de Deacon, 1997, sobre este tema).

El acto de la simbolización es la primera de tres epifanías que marcan el desarrollo de la lectura en los sistemas primitivos de escritura. La segunda epifanía incluye la comprensión de que un *sistema* de símbolos puede comunicarse a través del tiempo y la distancia, y puede preservar los pensamientos de una sola persona o de una cultura. Comenzando con los sistemas cuneiforme y jeroglífico, los sistemas primitivos de escritura reflejan estas dos nociones. La tercera epifanía es el concepto más abstracto y complejo desde el punto de vista lingüístico y no es universal entre los sistemas de escritura. Es la noción de que cada palabra de nuestro lenguaje oral consta de un grupo finito de sonidos individuales (que los lingüistas llaman fonemas) que pueden representarse con un grupo finito de letras individuales (llamadas grafemas). Los sistemas alfabéticos del mundo se basan en este principio, bien llamado el *principio alfabético*. Hubo aproximadamente dos mil años de cambios en la escritura entre los primeros sistemas cuneiforme y jeroglífico conocidos, y el primer sistema alfabético ampliamente aceptado, creado por los ugaríticos en la última mitad del segundo milenio antes de Cristo.

Se cree que el sistema cuneiforme sumerio es el primer sistema amplio de escritura, creado alrededor de 3100 a. C. Sin embargo, esta suposición es discutida por los egiptólogos, quienes recientemente hallaron evidencia de escritura jeroglífica egipcia que databa de varios siglos antes. Independientemente de cuál fue primero desde el punto de vista técnico, ambos sistemas primitivos exigieron mucho de sus lectores novatos y expertos, en particular, ya que cada cultura desarrolló conjuntos mayores de símbolos con el tiempo. Desde una perspectiva cognitiva, ambos sistemas

emplearon tres características fundamentales: primero, símbolos logográficos imagistas para transmitir una serie de conceptos y palabras nuevos; segundo, un principio de rebus que usaba el primer sonido de un símbolo más antiguo para representar el sonido de una palabra nueva (como un nombre); y tercero, un estilo direccional de bustrófedon (o arado), por el que el lector leía el texto primero de izquierda a derecha, luego bajaba una línea e iba de derecha a izquierda. Según la estructura, a un lector egipcio o sumerio también se le podía pedir que leyera hacia arriba o hacia abajo en una columna. En otras palabras, estos sistemas primitivos exigían una gran variedad de estrategias cognitivas y de estilos de lectura, además de mucha flexibilidad por parte del lector. La lectura primitiva no era para los delicados.

Ciertamente, el sistema instructivo sumerio a veces le llevaba diez años a un lector novato para estar bien entrenado. De acuerdo con los estudios modernos del asiriólogo Cohen (2003), el sistema pedagógico sumerio contenía notables conocimientos del lenguaje. Por ejemplo, los sumerios enseñaban a sus alumnos mediante listas de palabras que evolucionaban, que eran categorizadas con ingenio usando cualquier estándar lingüístico. Había grupos de palabras que compartían características semánticas o basadas en el significado; otros contenían características fonológicas compartidas o basadas en el sonido; otros tantos compartían la misma raíz logográfica (comparable con nuestros principios morfológicos y ortográficos). Más tarde, se agregaron listas bilingües. El resultado es que, antes de que se pensara siquiera en la clasificación lingüística, los sumerios enseñaban a leer mediante los diversos elementos lingüísticos hallados en las palabras escritas y mostrando a los estudiantes explícitamente las conexiones compartidas entre las palabras que podían clasificarse juntas de modos particulares. Es un ejemplo sorprendente y humillante para los educadores de los siglos xx y xxi, que con frecuencia parecen detenerse en enfoques más unidimensionales de la instrucción de la lectura (por ejemplo, la fonética basada en la fonología o el lenguaje por completo basado en la semántica). Hace más de cuatro milenios, nuestros antepasados sumerios usaban listas clasificadas de diversas maneras para mostrar a sus alumnos la naturaleza multidimensional de las palabras. De modo similar, una vez que desapareció la cultura sumeria, el extendido sistema de escritura acadio preservó muchas de las nociones del sistema sumerio. Además, para el final de este

capítulo, un método muy reciente e innovador de instrucción de la lectura usará un enfoque multidimensional de las palabras que se asemeja a muchas de las nociones de los sumerios.

La aparición del alfabeto

La historia del sistema egipcio de jeroglíficos tiene muchos misterios, pero uno es en particular importante para aquellos que entendieran la tercera epifanía de la especie y el nacimiento del principio alfabético. Así como sucedió con los sumerios, aprender a leer jeroglíficos era una hazaña cognitiva. Sin embargo, a diferencia del sumerio, el sistema egipcio se volvió considerablemente más extenso y más cargado con el curso del tiempo por las crecientes capas de significados secretos encriptados que había dentro de los jeroglíficos.

No sabemos cuándo ni por qué, pero apareció un pequeño subconjunto de símbolos que se usó para transmitir un número muy limitado de *sonidos* en el lenguaje oral, que posiblemente comenzó como un antídoto para la carga y los jeroglíficos. Una hipótesis es que los escribas semitas que trabajaban dentro y fuera de Egipto usaban estos signos para llevar a cabo instrucciones entre los trabajadores a quienes nunca se les habría permitido aprender la escritura jeroglífica. Independientemente de que esta hipótesis de la «taquigrafía del proletariado» se demuestre, una serie de lingüistas cree que este pequeño subconjunto de símbolos basados en el sonido se convirtió en el fundamento de lo que puede ser la primera escritura protosemítica parecida a un alfabeto. Hallada recientemente en la desolada región de Wadi el Hol, en Egipto, esta escritura antigua se usó a comienzos del segundo milenio (alrededor de 1800) a. C., y se piensa que influyó sobre el muy posterior desarrollo de la hermosa escritura ugarítica (1400 a. C.). Esta forma de escritura semítica está clasificada como un *abugida*, un sistema alfabético que transmite todo excepto los sonidos vocálicos. Se usó para todo, desde cartas de la corte y poemas hasta documentos. De hecho, algunos creen que el ugarítico fue la primera lengua de la Biblia.

Sin embargo, los lingüistas, los asiriólogos y los clasicistas disienten por completo acerca de si estos primeros sistemas protosemíticos pueden calificarse como el primer alfabeto. Lo que es indiscutible es que, mucho más tarde, en el primer milenio antes

de Cristo, los griegos «reorganizaron» lo que sabían acerca del sistema de escritura de sus vecinos fenicios y crearon un alfabeto casi perfecto, capaz de representar todos los fonemas (consonantes y vocales) de la lengua griega. Fue un logro extraordinario. Los griegos analizaron todos los fonemas del lenguaje oral fenicio y griego a fin de construir un alfabeto capaz de transmitir todos los sonidos de su lengua. Fueron los mejores científicos de la lengua en el mundo, si no los primeros.

De la evolución al desarrollo de la lectura en el niño

Muchas veces, el educador moderno no se percata de que la prodigiosa hazaña de los griegos requiere muchas de las mismas nociones cognitivas básicas que el niño debe alcanzar antes de poder aprender a leer. Tácitamente, debe aprender tres conceptos similares: primero, la representación simbólica; luego, la idea de que un conjunto o un sistema de símbolos transmite palabras; y finalmente (la noción más difícil y abstracta), que las palabras están compuestas de sonidos discretos y que las letras trazan estos sonidos en la escritura. Los niños tienen entre seis y siete años para descubrir, entender y demostrar su competencia para dominar los conocimientos que a la especie le tomó milenios alcanzar.

Poco apreciados por la mayoría, estos conocimientos de la lectura nunca suceden solo en la infancia. De hecho, la adquisición y el desarrollo de la lectura en el niño representan la suma de cientos de palabras, miles de conceptos y decenas de miles de perceptos, todos los cuales contribuyen al desarrollo de un proceso que exige mucho al cerebro humano. Y nada de esto puede darse por sentado. En un conocido estudio de Teale y Sulzby (1986) que comparó la «base de alfabetismo» que los niños llevan al jardín de infantes, algunos niños que provenían de ambientes menos privilegiados se encontraron con el equivalente a 60 horas de materiales basados en el «alfabetismo» en sus primeros cinco años. En contraste, los niños de la mayoría de las familias de clase media recibieron el equivalente a miles de horas. Un estudio parecido de Hart y Risley (2003) mostró que, para los tres años, existe una «brecha de treinta millones de palabras» en el número de palabras al que están expuestos los niños de diferentes ambientes socioeconómicos en sus hogares. Según la perspectiva de la lectura adoptada aquí, los pre-

cursores de la lectura tienen una vida propia que afecta no solo la adquisición de la lectura, sino también su desarrollo a través del tiempo. ¿Por qué esto sería así una vez que se adquieren los principios básicos de decodificación de la lectura?

Imaginemos lo que supone para un niño leer la breve palabra «*cat*» (véase una descripción más completa en Wolf y cols., 2001) y también «*catastrophe*». Para la lectura, es necesaria una serie de procesos atencionales, de la memoria, perceptivos visuales, de reconocimiento del patrón ortográfico, perceptivos auditivos, fonológicos, semánticos, de recuperación y comprensión. Cada uno de estos conjuntos de procesos debe funcionar con precisión y rapidez antes de ser integrados en milisegundos para poder leer una sola palabra. Aquí hay que destacar puntos muy diferentes, pero relacionados. Primero, esta visión de los procesos cognitivos y lingüísticos muestra la importancia de múltiples procesos lingüísticos, incluidos los procesos semánticos, sintácticos y de comprensión, así como también los procesos relacionados con la decodificación. Para que los niños se conviertan en analizadores de textos desenvueltos y con comprensión, deben desarrollar su conocimiento de las palabras en forma más profunda y completa, y lo mismo sucede con sus habilidades de decodificación. Los primeros años de desarrollo cognitivo y del lenguaje proporcionan una base para el resto de su vida. No se trata de que los niños no pueden alcanzar cierto nivel, pero la realidad es que con frecuencia no lo hacen. Su brecha invisible de treinta millones de palabras y todo lo que ello implica impiden crónicamente su capacidad de obtener del texto todo lo que podrían obtener de otro modo.

El segundo punto nos lleva otra vez al cerebro que lee. Todos estos procesos atencionales, perceptivos, cognitivos y lingüísticos se apoyan en una reorganización intrincada de las regiones del cerebro en desarrollo. Esto no sucede a causa de algún programa genético. Sucede o no a causa del trabajo humano, por parte de la sociedad (es decir, el docente) y el estudiante individual. El lingüista Steven Pinker lo expresó mejor: «Los niños están conectados con el sonido, pero el texto impreso es un accesorio opcional que debe ser dolorosamente atornillado».

El desarrollo de la lectura supone exactamente eso: *atornillar dolorosamente y unir con firmeza* los procesos. Muchos estudiantes, llenos de una rica historia de precursores, están listos para aprender casi, «parecería», sin esfuerzo. Otros niños, unas veces

por motivos ambientales y otras por diferencias fisiológicas en las regiones cerebrales que ayudan a la lectura, tienen gran dificultad para adquirirla. Estos grandes grupos de niños requieren una instrucción explícita sistemática en los diversos procesos que abarcan los componentes de la lectura.

Una consecuencia importante de esta visión en particular de la lectura es que los múltiples componentes incluidos en ella pueden llevar a múltiples fuentes posibles de fracaso. Y si ese es el caso, debería haber subtipos de niños con diferentes causas de fracaso en la lectura, conclusión que va en sentido contrario a la visión convencional del fracaso en la lectura durante los últimos treinta años. Sobre la base de una investigación revolucionaria en psicolingüística llevada a cabo en la década de los setenta, la visión convencional supone que la fuente primaria del fracaso en la lectura reside en la mitad de los procesos que subyacen tras la capacidad del niño para aprender y aplicar las reglas de correspondencia grafema-fonema: es decir, los procesos fonológicos. Según esta visión más unidimensional, un déficit en los procesos fonológicos obstaculiza la capacidad del niño de desarrollar la conciencia de los fonemas, lo cual obstaculiza la capacidad de aprender las reglas de correspondencia grafema-fonema, lo que, a su vez, obstaculiza aprender a decodificar y a comprender. Nuestra posición es que la explicación fonológica es necesaria, pero insuficiente.

Una visión alternativa que surgió del trabajo en las neurociencias sobre la recuperación de palabras y los procesos de la velocidad de nombrar en la alexia, la afasia y la dislexia sugiere que existen otros posibles déficits en la dislexia, en particular, que incluyen la necesidad de un procesamiento automático rápido, que son independientes de la fonología y que no pueden explicarse mediante los déficits fonológicos.

Clasificación de subtipos: la hipótesis del doble déficit

Originalmente concebida por Bowers y Wolf (1993), lo que se ha denominado la Hipótesis del Doble Déficit (HDD) representa un intento por capturar la heterogeneidad encontrada en los lectores con dislexia. Su énfasis está en la descripción de por lo menos tres subtipos fundamentales de niños, caracterizados por la presencia, la ausencia o la combinación de dos déficits centrales en la fonolo-

gía y los procesos responsables de la velocidad de nombrar. Ahora existen datos considerables (Lovett, Steinback y Frijters, 2000; Manis, Doi y Bhadha, 2000; Badian, 1996; y Ho Chan, Tsang y Lee, 2002) de que hay (a) lectores malos que tienen déficits fonológicos sin problemas en la velocidad de nombrar; (b) lectores que tienen adecuadas habilidades fonológicas y para descifrar palabras, pero déficits tempranos en la velocidad de nombrar y, más tarde, déficits en la fluidez de la lectura y la comprensión (Nota: estos niños pasarían inadvertidos en la mayoría de las baterías diagnósticas, pues la decodificación es precisa); y (c) niños con ambas áreas de debilidades o «dobles déficits». Los niños con ambos déficits centrales representan el subtipo más afectado en todos los aspectos de la lectura —en particular en la fluidez y la comprensión de la lectura—, porque hay menos áreas de compensación disponibles.

Wolf y Bowers (1999, 2000) usaron el término Hipótesis del Doble Déficit como un vehículo transicional reconocido para recalcar la necesidad de ir más allá de un énfasis puesto demasiado exclusivamente en los déficits fonológicos. A diferencia de los déficits fonológicos, los déficits en la velocidad de nombrar pueden ser causados por una variedad de posibles fuentes. Esto es porque nombrar con rapidez, como la visión de leer, de múltiples componentes defendida aquí, está conceptualizado como un conjunto de procesos perceptivos, cognitivos, motores y lingüísticos que requieren una seriación, una integración y una gran rapidez dentro y a través de todos estos procesos. Estos procesos son vistos como un subconjunto de los mismos componentes y requisitos de la velocidad usados en la lectura. Dicha perspectiva explica la poderosa capacidad de la velocidad de nombrar para predecir el fracaso en la lectura entre muchos niños y para diferenciar a estos niños de aquellos que no tienen discapacidades de lectura. Datos exhaustivos ahora reproducen la existencia de estos subtipos en alemán, holandés, finlandés y hebreo; también hay datos preliminares para el chino y el japonés.

Por lo tanto, la Hipótesis del Doble Déficit puede considerarse un intento por entender varias fuentes importantes del fracaso en la lectura. No apunta a implicar que solo existen estos tipos de patrones de déficit. En todos los análisis que hicimos y en los reanálisis de otros colegas, existen pequeños grupos de niños que no pueden ser caracterizados según ninguno de los dos déficits y, sin embargo, tienen una grave discapacidad de lectura (véase Lovett,

Steinbach y Frijters, 2000). Lo que quería recalcar la Hipótesis del Doble Déficit es la necesidad de entender cuán independientes pueden ser estos tres tipos principales de déficits en nuestras muestras y en nuestras clases, con todas las consecuencias que ello tiene para expandir los focos de las intervenciones existentes. La única consecuencia más importante es que la mayoría de los niños con déficits en la velocidad de nombrar tienen problemas de fluidez. La mayor parte de los programas existentes para niños con dislexia se concentra, en gran medida, en las habilidades fonológicas con un énfasis necesario, pero no suficiente, para estos niños. Necesitan énfasis adicionales, tempranos y diarios, en la automaticidad y la fluidez.

La importancia última de la Hipótesis del Doble Déficit es que recalca la necesidad de entender la función de la velocidad de procesamiento y de fluidez en la evolución de la lectura y de crear la intervención de la fluidez que trata estos problemas. Hasta hace poco, los niños con déficits fonológicos únicos eran tratados en forma adecuada con programas actuales que hacían hincapié en la conciencia y la decodificación fonológicas. Sin embargo, los otros dos subtipos con sus problemas explícitos en la velocidad de nombrar y la fluidez en la lectura nunca fueron remediados en forma suficiente. La sección final de este capítulo describe un programa de intervención componencial de la lectura que integra los énfasis fonológicos con una nueva perspectiva de «fluidez y comprensión».

Visión de la fluidez, basada en los componentes, en la intervención de la lectura

Nuestra visión del desarrollo de la fluidez incorpora elementos clave de investigaciones pasadas de Hebb (1949), Geschwind (1965), Denckla y Rudel (1976), LaBerge y Samuels (1974), Doehring (1976) y Perfetti (1985), y se analiza en detalle en Wolf y Katzir-Cohen (2001). Primero, dentro de esta visión, la fluidez exige el desarrollo de sistemas representativos ortográficos, fonológicos, semánticos y sintácticos de alta calidad. Segundo, requiere conexiones rápidas entre estos sistemas. Y, tercero, exige el aprendizaje y la práctica para asegurar la recuperación rápida de información de cada sistema. Las perspectivas más actuales de la fluidez incorporan muy poco de investigaciones pasadas, y la

mayoría de las definiciones enfocan la fluidez básicamente como un *resultado* de precisión en procesos como la decodificación. En dos excelentes análisis recientes de la bibliografía sobre la fluidez, Meyer y Felton (1999) y Meyer (2002) resumen la mayoría de las visiones consensuadas de la fluidez como «la capacidad de leer un texto conectado con rapidez, sin contratiempos, sin esfuerzo y en forma automática con poca atención consciente a la mecánica de la lectura, tal como la decodificación». Esta visión de la fluidez refleja poco de los numerosos subprocesos que contribuyen a ella.

Creemos que es esencial definir la fluidez en términos de los procesos que la componen y diversos niveles de subhabilidades de lectura: es decir, desde el nivel de la letra, el patrón de la letra y la palabra hasta la oración y el párrafo. Junto con Kame'enui, Simmons, Good y Harn (2001), sugerimos un cambio figura-fondo para la conceptualización de la fluidez, específicamente, como un proceso de desarrollo y también como un resultado. Kame'enui y sus colegas conceptualizaron la fluidez de un modo más relacionado con el desarrollo, tanto como el *desarrollo* del «dominio» en un nivel inferior subyacente, habilidades componentes de la lectura (por ejemplo, la conciencia de los fonemas) y también como el *resultado* del dominio en procesos y habilidades componentes de nivel superior (por ejemplo, exactitud en la comprensión).

Berninger y sus colegas (Berninger, Abbott, Billingsley y Nagy, 2001) plantean un enfoque aún más amplio y sistémico de la fluidez, y le dan especial importancia a la función del conocimiento morfológico de las palabras al facilitar el desarrollo de la rapidez ortográfica y la fluidez global.

En un intento por integrar la investigación histórica y la actual acerca de la fluidez, Wolf y Katzir-Cohen (2001) ofrecen la siguiente definición relacionada con el desarrollo:

En sus comienzos, la fluidez en la lectura es el producto del desarrollo inicial de la precisión y el subsiguiente desarrollo de la automaticidad en procesos subléxicos subyacentes, procesos léxicos y su integración en la lectura de palabras sueltas y de texto conectado. Estos incluyen procesos perceptivos, fonológicos, ortográficos y morfológicos en el nivel de la letra, el patrón de la letra y el nivel de la palabra; también procesos semánticos y sintácticos en el nivel de la palabra y el nivel del texto conectado. Una vez que está completamente desarrollada, la fluidez en la lectura se refiere a un nivel de precisión y de velocidad, donde la decodificación se realiza relativamente sin esfuerzo, donde la

lectura oral es pareja y precisa, con una prosodia correcta, y donde la atención puede concentrarse en la comprensión (pág. 219).

Esta visión de desarrollo más abarcadora de la fluidez en la lectura tiene, creemos, consecuencias profundas para la prevención, la intervención y la evaluación. Ello se debe a que, dentro de una perspectiva del desarrollo, los intentos por tratar la fluidez deben comenzar en el inicio del proceso de adquisición de la lectura, no después de que esta ya se adquirió.

La importancia de trabajar en forma preventiva antes de que comiencen los problemas de la fluidez en la lectura es un tema implícito de Lyon y Moats (1997), que expresaron una de las principales preocupaciones en la investigación actual de la intervención de la lectura:

Las mejoras en la decodificación y la precisión en la lectura de palabras han sido mucho más fáciles de obtener que las mejoras en la fluidez y la automaticidad en la lectura. Este hallazgo persistente indicó que hay mucho que tenemos que aprender acerca del *desarrollo de las habilidades componentes de la lectura* y cómo las habilidades median la velocidad de la lectura y su comprensión (pág. 570, las *itálicas* son nuestras).

En este pasaje, Lyon y Moats (1997) destacaron no solo la dificultad del campo para mejorar el problema de la fluidez, sino también un potencial método para resolverlo: es decir, especificar los subcomponentes incluidos en la fluidez por sobre el desarrollo.

Como se resumió brevemente más arriba, creemos que parte de la investigación histórica —desde Hebb hasta Perfetti—, cuando está complementada con el trabajo actual (por ejemplo, modelos de velocidad de nombrar), brinda una base razonable para una primera especificación de los múltiples procesos y componentes involucrados. Estos incluyen los siguientes procesos relacionados con la fluidez: percepción de las letras, representación ortográfica, representación fonológica, representación semántica, acceso y recuperación léxicos, habilidades de decodificación y de identificación de palabras, conocimiento morfológico, sintáctico y prosódico y, finalmente, habilidades de deducción y comprensión. En otras palabras, la difícil consecuencia del trabajo pasado y presente sobre la automaticidad y la eficiencia es que la fluidez en la lectura

apela a la instrucción explícita de todos los principales procesos y subhabilidades involucrados en la lectura misma. Implica que, para los niños con problemas de fluidez, debemos ahondar debajo de la superficie de nuestras definiciones y especificaciones teóricas para aplicar lo que sabemos acerca de la estructura de la fluidez en la lectura a lo que enseñamos.

Intervención en la fluidez: RAVE-O

Financiado por el Instituto Nacional de Salud Infantil y Desarrollo Humano, diseñamos y probamos un enfoque experimental, de múltiples componentes, para la instrucción de la fluidez. El programa surgió como resultado de una colaboración de Morris, Lovett y Wolf para investigar una perspectiva multidimensional de las discapacidades de la lectura y para evaluar la eficacia de diferentes tratamientos basados en la teoría para niños con formas específicas de dislexia.

Descrito en detalle en otro texto (Wolf, Miller y Donnelly, 2000; Wolf, O'Brien, Adams y cols. 2003), el programa RAVE-O (Recuperación, Automaticidad, Vocabulario, Elaboración del lenguaje y Ortografía) tiene tres grandes objetivos para cada niño: primero, el desarrollo de la precisión y la automaticidad en el patrón de letras y los niveles de palabras; segundo, una mayor velocidad en el análisis de palabras, la identificación y la comprensión de las palabras; y tercero, una actitud transformada hacia las palabras y el lenguaje. Para estos fines, el programa simultáneamente trata la necesidad de automaticidad en los sistemas fonológico, ortográfico, semántico, sintáctico y morfológico, y la importancia de enseñar *conexiones explícitas* entre estos sistemas lingüísticos. Esta última característica se basa, en parte, en una investigación que hace hincapié en los vínculos o conexiones explícitos entre los procesos ortográfico, semántico y fonológico (Adams, 1990; Foorman, 1994; Seidenberg y McClelland, 1989). Además, Berninger y cols. (2001), Adams (1990) y Moats (2000) acentúan las conexiones entre el conocimiento morfosintáctico y estos otros procesos.

El programa RAVE-O es enseñado solo en combinación con un programa que enseña el análisis y la fusión fonológicos sistemáticos (véase Lovett y cols., 2000). A los niños se les enseña un grupo de *palabras clave* cada semana que ejemplifican los princi-

plos fonológicos, ortográficos y semánticos críticos. Los principios sintácticos y morfológicos se añaden gradualmente una vez que comenzó el trabajo inicial en el programa. Cada palabra clave se escoge sobre la base de: (a) fonemas compartidos con el programa de tratamiento fonológico; (b) patrones ortográficos secuenciados; y (c) riqueza semántica (por ejemplo, cada palabra clave tiene por lo menos tres significados diferentes). Primero, los múltiples significados de las palabras clave son presentados en diversos contextos semánticos. Segundo, a los niños se les enseña a conectar los fonemas de las palabras clave con los patrones ortográficos practicados en RAVE-O. Por ejemplo, se les enseñan fonemas individuales en el programa fonológico (como «a», «t» y «m») y *segmentos ortográficos* con los mismos fonemas en RAVE-O (por ejemplo, «at» y «am» junto con sus familias de palabras; véase el trabajo de Goswami, 1999, y Goswami, en este libro).

Hay un énfasis diario en la práctica y el reconocimiento rápido de los patrones ortográficos de letras más frecuentes en inglés. Los juegos computarizados (véase Speed Wizards, Wolf y Goodman, 1996) y un nuevo grupo de materiales de manipulación (por ejemplo, dados con letras, cajas de sonido, tarjetas, etc.) fueron diseñados para permitir la mayor cantidad de práctica y para aumentar la velocidad de reconocimiento del patrón ortográfico (por ejemplo, principio y rima) de un modo atractivo.

Existe un énfasis simultáneo en el vocabulario y la recuperación, sobre la base de trabajos anteriores en el desarrollo del vocabulario, que sugieren que uno recupera con más rapidez lo que uno conoce mejor (véase Beck, Perfetti y McKeown, 1982; German, 1992; Kame'enui, Dixon y Carnine, 1987; Wolf y Segal, 1999). El crecimiento del vocabulario es conceptualizado como esencial para la rápida recuperación (en el lenguaje oral y escrito) y también para una mejor comprensión, objetivo último del programa. Las habilidades de recuperación se enseñan a través de una variedad de formas que incluyen un conjunto de estrategias metacognitivas.

Una serie de historias de comprensión (por ejemplo, *Misterios de un minuto* y *Aventuras de un minuto*) acompañan cada semana de RAVE-O y directamente abordan la fluidez y la comprensión de varias formas. El vocabulario controlado en las historias cronometradas y no cronometradas incorpora los patrones particulares ortográficos y morfológicos de la semana, y también hace hincapié en los múltiples significados y usos sintácticos de las palabras clave de

la semana. Las historias brindan un excelente vehículo para una repetida práctica de la lectura, que, a su vez, ayuda con la fluidez en el texto conectado. Así, las *Historias de un minuto* son vehículos multipropósito para facilitar la fluidez en los sistemas fonológico, ortográfico, sintáctico y semántico al tiempo que construyen habilidades de comprensión. La fluidez es nuestro puente más conocido hacia la comprensión. Por lo tanto, el objetivo final de RAVE-O no es cuán rápido leen los niños, sino cuán bien entienden y disfrutan lo que leen.

Conectado con este objetivo último, en las lecciones de todos los días en RAVE-O hay un sistema adicional demasiado poco analizado por muchos investigadores, es decir, el afectivo-motivacional. El arma secreta de este programa es la *fantasía* parecida a un juego en cada aspecto de las actividades del programa. Queremos que los niños deseen leer y jugar con su lenguaje oral y escrito. Buscamos empoderar a quienes con frecuencia son niños lingüísticamente desfavorecidos.

Este método de instrucción exige una especial participación de los docentes. Por lo tanto, a lo largo del programa nos esforzamos todo lo que podemos para involucrar no solo al alumno, sino también al maestro y al propio amor del maestro por el lenguaje. Nuestro objetivo en todo momento es un grupo de maestros y de alumnos mutuamente involucrados.

Los resultados preliminares de este estudio respaldan en gran medida el potencial de RAVE-O de mejorar el desempeño de los niños en la lectura respecto de las letras, las palabras y el texto de varias maneras. En los análisis de la curva de crecimiento, nuestros resultados indican que los niños que llevan a cabo el programa RAVE-O hacen importantes adelantos después de setenta sesiones de una hora en análisis de palabras, variables de identificación de palabras; en vocabulario; en fluidez respecto de la palabra y la oración; y en una medida de fluidez y de comprensión combinadas respecto del texto conectado (la medida de la Prueba Gray de Lectura Oral).

Resumen

El *leitmotiv* de este capítulo es la noción poderosa, desde el punto de vista evolutivo, de la capacidad del cerebro de *reorgani-*

zarse para aprender nuevas funciones cognitivas. Aplicamos este concepto de dos formas. Primero, presentamos una conceptualización del cerebro que lee, en la que, a lo largo de los últimos 5000 años, el cerebro humano aprendió a apelar a una serie de regiones originalmente dedicadas a otras cosas: la percepción de características visuales diminutas, el oír y segmentar las unidades más pequeñas de sonidos en el lenguaje hablado, la comprensión de un símbolo, la recuperación de palabras y sus significados, y la integración de todas estas regiones a velocidades rapidísimas y casi automáticas. Segundo, aplicamos el concepto de reorganización al diseño de intervención donde ilustramos cómo una reconfiguración de las «mejores prácticas de enseñanza» nuevas y viejas pueden abordar el continuo de procesos que subyacen tras la lectura. La capacidad de integrar estos procesos en un tiempo lo suficientemente rápido para permitir una decodificación precisa y una comprensión fluida es el objetivo general del programa de intervención RAVE-O. Finalmente, deseamos terminar sugiriendo que el programa RAVE-O, con sus intentos explícitos por describir la naturaleza multidimensional de las palabras, es una nueva repetición de los principios empleados por primera vez por los sumerios hace 5000 años.

Referencias

- Adams, M. J. (1990). *Beginning to Read: Thinking and Learning about Print*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Badian, N. (1996). *Dyslexia: does it exist? Dyslexia, garden-variety poor reading, and the Double-Deficit Hypothesis*, trabajo presentado en la Orton Dyslexia Society, Boston, Massachusetts.
- Beck, I. L., Perfetti, C. A. y McKeown, M. G. (1982). «Effects of long-term vocabulary instructions on lexical access and reading comprehension», *Journal of Educational Psychology*, 74, 506-521.
- Berninger, V. W., Abbott, R. D., Billingsley, F. y Nagy, W. (2001). «Processes underlying timing and fluency of reading: Efficiency, automaticity, coordination, and morphological awareness», en M. Wolf (comp.), *Time, Fluency, and Dyslexia*, Timonium, Maryland, York Press.
- Bowers, P. G. y Wolf, M. (1993). «Theoretical links among naming

- speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia», *Reading and Writing*, 5, 69-85.
- Cohen, U. (2003). Correspondencia personal.
- Deacon, T. (1997). *The Symbolic Species: The Co-evolution of Language and the Human Brain*, Nueva York, W. W. Norton & Company.
- Dehaene, S. (2003). *Pre-emption of human cortical circuits by numbers and language: The «neuronal» recycling hypothesis*, trabajo presentado en la reunión de la Pontificia Academia de las Ciencias, Ciudad del Vaticano.
- Denckla, M. B. y Rudel, R. G. (1976). «Naming of objects by dyslexic and other learning-disabled children», *Brain and Language*, 3, 1-15.
- Doehring, D. G. (1976). *Acquisition of rapid reading responses*, Monografía de la Sociedad de Investigación del Desarrollo Infantil, Vols. 165 (2).
- Foorman, B. R. (1994). «Phonological and orthographic processing: Separate but equal?», en V. W. Berninger (comp.), *The Varieties of Orthographic Knowledge I: Theoretical and Developmental Issues* (págs. 319-355), Dordrecht, Países Bajos, Kluwer.
- German, D. J. (1992). «Word finding intervention for children and adolescents», *Topics in Learning Disorders*, 13, 33-50.
- Geschwind, N. (1965). «Disconnection syndrome in animals and man» (Partes I, II), *Brain*, 88, 237-294, 585-644.
- Goswami, U. (1999). «Causal connections in beginning reading: the importance of rhyme», *Journal of Research in Reading*, 22, 217-240.
- Hart, B. y Risley, T. R. (2003). «The early catastrophe: The “30 million word gap”», *American Educator*, 27(1), 4-9.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behaviour*, Nueva York, John Wiley.
- Ho Chan, D., Tsang, S.-M. y Lee, S.-H. (2002). «The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental psychology», *Developmental Psychology*, 38, 543-553.
- Kame'enui, E. J., Dixon, R. C. y Carnine, D. W. (1987). «Issues in the design of vocabulary instruction», en M. G. McKeown y M. E. Curtis (comps.), *The Nature of Vocabulary Acquisition* (págs. 129-145), Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum.
- Kame'enui, E. J., Simmons, D. C., Good, R. H. y Harn, B. A. (2001). «The use of fluency-based measures in early identification

- and evaluation of intervention efficacy in schools», en M. Wolf (comp.), *Time, Fluency, and Dyslexia*, Timonium, Maryland, York Press.
- LaBerge, D. y Samuels, S. J. (1974). «Toward a theory of automatic information processing in reading», *Cognitive Psychology*, 6, 293-323.
- Lovett, M. W., Steinbach, K. A. y Frijters, J. C. (2000). «Remediating the core deficits of developmental reading disability: A double-deficit perspective», *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 334-358.
- Lyon, G. R. y Moats, L. C. (1997). «Critical conceptual and methodological considerations in reading intervention research», *Journal of Learning Disabilities*, 30, 578-588.
- Manis, F. R., Doi, L. M. y Bhadha, B. (2000). «Naming speed, phonological awareness, and orthographic knowledge in second graders», *Journal of Learning Disabilities*, 33, 325-333.
- Meyer, M. S. y Felton, R. H. (1999). «Repeated reading to enhance fluency: Old approaches and new directions», *Annals of Dyslexia*, 49, 283-306.
- Moats, L. (2000). *Speech to Print: Language Essentials for Teachers*, Baltimore, Paul H. Brookes Publishing Company.
- Morris, R., Lovett, M. y Wolf, M. (1996). *Treatment of developmental reading disabilities*, Propuesta de beca del NICHD.
- Perfetti, C. A. (1985). *Reading Ability*, Nueva York, Oxford Press.
- Schmandt-Besserat, D. (1992). *Before Writing: From Counting to Cuneiform*, College Station, Texas, Texas University Press.
- Seidenberg, M. y McClelland, J. (1989). «A distributed developmental model of word recognition and naming», *Psychological Review*, 96, 35-49.
- Teale, W. y Sulzby, E. (comps.) (1986). *Emergent Literacy: Writing and Reading*, Norwood, Nueva Jersey, Ablex, Co.
- Wolf, M. y Bowers, P. (2000). «The question of naming-speed deficits in developmental reading disabilities: An introduction to the Double-Deficit Hypothesis», *Journal of Learning Disabilities*, 33, 322-324.
- (1999). «The “Double-Deficit Hypothesis” for the developmental dyslexias», *Journal of Educational Psychology*, 91(3), 1-24.
- Wolf, M. y Goodman, G. (1996). «Speed Wizards: Computerized games for the teaching of reading fluency», Tufts University y Rochester Institute of Technology.

- Wolf, M. y Katzir-Cohen, T. (2001). «Reading fluency and its intervention. Scientific Studies of Reading» (*Special issue on Fluency*, compiladores: E. Kame'enui y D. Simmons), 5, 211-238.
- Wolf, M. y Segal, D. (1999). «Retrieval-rate, accuracy and vocabulary elaboration (RAVE) in reading-impaired children: A pilot intervention program», *Dyslexia*, 5, 1-27.
- Wolf, M., Miller, L. y Donnelly, K. (2000). «Retrieval, Automaticity, Vocabulary Elaboration, Orthography (RAVE-O): A comprehensive fluency-based reading intervention program», *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 375-386.
- Wolf, M., O'Brien, B., Adams, K., Joffe, T., Jeffrey, J., Lovett, M. y Morris, R. (2003). «Working for time: Reflections on naming speed, reading fluency, and intervention», en B. Foorman (comp.), *Preventing and Remediating Reading Difficulties: Bringing Science to Scale*, Timonium, Maryland, York Press.

La lectura y el cerebro: Un enfoque a través de las lenguas

Usha Goswami

Introducción

El aprendizaje de las habilidades de lectura está relacionado causalmente con algunas propiedades de la lengua misma. Las lenguas alfabéticas transparentes o coherentes, como el español, se proyectan («mapean») con más facilidad de la ortografía a los sonidos, con una correspondencia de uno a uno entre las letras y los fonemas. Las ortografías incoherentes, como el inglés, muestran, en cambio, una mayor discordancia entre la ortografía y la fonología. Un niño que aún no sabe leer detecta pequeñas unidades dentro de las sílabas en su vocabulario oral, unidades compuestas por principio y rima. Analizar el habla según estos componentes es central para la conciencia fonológica, la capacidad de analizar el habla según los sonidos que la componen. Leer en un lenguaje alfabético requiere relacionar las letras con unidades de sonido que son más pequeñas que el principio y la rima, unidades llamadas fonemas. Goswami sostiene que los niños aprenden los fonemas a través del dominio de la ortografía (letras combinadas) de su lengua. Para dominar el código que relaciona las letras escritas con los sonidos hablados, los niños necesitan más tiempo para las lenguas con ortografía incoherente, incluso cuando no presentan dislexia. Los niños disléxicos de todas las lenguas tienen mayores problemas al aprender las relaciones letra-sonido, típicamente debido a la mala representación de los sonidos, lo cual puede investigarse tanto en el comportamiento como en las imágenes cerebrales. Los potenciales eléctricos de la actividad cortical evocados por los sonidos y otros

estímulos indican que los sistemas auditivos de los niños disléxicos son, al parecer, más inmaduros que los de los niños normales. Este tipo de investigación que combina el comportamiento y la actividad cerebral para analizar la lectura es una de las áreas que más probablemente produzca importantes conocimientos pertinentes para la tarea escolar en un futuro cercano.

Los compiladores

Una plétora de estudios sobre la psicología cognitiva del desarrollo a través de muchas lenguas ha mostrado una conexión causal entre la conciencia que un niño tiene de los sonidos dentro de las palabras —«conciencia fonológica»— y su progreso en la lectura y la ortografía (para una reseña, véanse Goswami, 2003a, y Wolf, en este libro). Los estudios también han mostrado que hay una secuencia universal del lenguaje en la adquisición de la conciencia fonológica. Los niños primero parecen desarrollar una conciencia de las sílabas («*pop-si-cle*»; «*wig-wam*»; «*soap*»). Ello es seguido por el desarrollo de la conciencia de las unidades intrasilábicas del principio y la rima (el principio corresponde a los sonidos consonantes iniciales en cualquier sílaba, la rima corresponde a la vocal y a cualquier sonido siguiente, como en «*s-eat*», «*sw-eet*», «*str-eet*»¹). La sensibilidad fonológica en los niveles silábico y de principio-rima pueden medirse en los niños que aún no leen, y ello es un importante predictor de la adquisición del alfabetismo (por ej.: Bradley y Bryant, 1983; Høien, Lundberg, Stanovich y Bjaalid, 1995; Siok y Fletcher, 2001).

1. Se emplea el término lingüístico «rima», porque las palabras multisilábicas tienen más de una rima. Mientras que «*mountain*» y «*fountain*» riman, cada palabra tiene dos rimas: «-ount» y «-ain». «*Mountain*» y «*counting*» no riman, aunque comparten la rima inicial «-ount».

La conciencia fonológica y el aprendizaje de la lectura a través de las lenguas

La conciencia fonológica temprana se concentra en unidades «grandes», como las sílabas y las rimas. La conciencia de las sílabas, por lo general, está presente alrededor de los 3 años de edad, y la conciencia principio-rima, entre los 4 y los 5 años. En todas las lenguas analizadas hasta ahora, la conciencia de las sílabas, los principios y las rimas está presente antes de que se enseñe a leer. Las letras representan unidades de sonido más pequeñas en las palabras, a las que se denomina fonemas. Los fonemas son unidades abstractas en el flujo del habla que se definen en términos de cambios en el significado. Las palabras «cot» y «cat» difieren en términos del fonema medio; las palabras «cot» y «hot» difieren en términos del fonema inicial. La conciencia del fonema se desarrolla como consecuencia de aprender a leer y a escribir. De hecho, los adultos analfabetos no son conscientes de los fonemas. Pareciera que aprender las letras *causa* una reorganización basada en los fonemas del léxico mental (véase Goswami, 2002). Ello significa que aprender a leer no puede conceptualizarse como un proceso de segmentación oral de las palabras del vocabulario que uno tiene en fonemas y luego hacer coincidir las letras con estos fonemas. En cambio, los niños aprenden los fonemas a través de las letras.

Muchos estudios han mostrado poca conciencia de los fonemas en los niños que aún no aprendieron a leer. Por ejemplo, puede emplearse la tarea de dar golpecitos (*tapping*) con los dedos para comparar la conciencia de las sílabas y de los fonemas en los niños. Los niños deben dar golpecitos de acuerdo con el número de sonidos de las palabras que tienen una sílaba o fonema («dog», «I»), dos sílabas o fonemas («dinner», «my»), o tres sílabas o fonemas («president», «book»). Liberman, Shankweiler, Fischer y Carter (1974) hallaron que el 46% de los estadounidenses de 4 años podían segmentar las palabras en sílabas, mientras que el 0% de este grupo etario podía manejar los fonemas. Los estadounidenses de 5 años obtuvieron un puntaje del 48% y del 17% de respuestas correctas, respectivamente. Solo los estadounidenses de 6 años, que habían estado aprendiendo a leer durante un año, tuvieron éxito en la tarea de los fonemas. Un estudio con niños italianos mostró un patrón de desarrollo

similar (Cossu, Shankweiler, Liberman, Katz y Tola, 1988). Cossu y cols. compararon a niños italianos de edad preescolar (de 4 y 5 años) con niños mayores que ya asistían al colegio (7 y 8 años). El criterio en el nivel de la sílaba fue alcanzado por el 67% de los niños de 4 años, el 80% de los de 5 años y el 100% de la muestra en edad escolar. El criterio en la tarea de los fonemas fue alcanzado por el 13% de los niños de 4 años, el 27% de los niños de 5 años y el 97% de la muestra en edad escolar. Los patrones de desempeño mostrados por los niños estadounidenses e italianos fueron, entonces, notablemente similares. Los niños exhibieron buena conciencia silábica antes de ingresar en la escuela y poca conciencia fonémica hasta que se les enseñó a leer.

Se han documentado patrones similares para otras lenguas, y ello se muestra en la Tabla 12.1. Sobre la base de la investigación llevada a cabo hasta ahora, que se ha limitado a lenguas europeas, y al japonés y al chino, la secuencia de desarrollo de la conciencia fonológica parece ser universal para todas las lenguas. Las sílabas, los principios y las rimas se representan antes de alcanzar el alfabetismo. Los fonemas se representan solo cuando se aprende el alfabeto y se alfabetiza. Este proceso de aprendizaje acerca de los fonemas puede ser facilitado o inhibido por la naturaleza de la ortografía que el niño está aprendiendo a leer. Los niños que están aprendiendo a leer lenguas con ortografías transparentes, donde hay una correspondencia 1:1 entre las letras y los fonemas, en general representan los fonemas con bastante rapidez. Los niños que están aprendiendo a leer lenguas sin ortografías transparentes, donde no hay una correspondencia 1:1 entre las letras y los fonemas, por lo general no lo hacen. Debido a que el desarrollo fonémico depende del alfabetismo, hay diferencias sistemáticas en el índice de desarrollo fonémico dependiendo de la ortografía que el niño esté aprendiendo a leer.

El impacto de la ortografía en la representación fonológica y las estrategias de lectura

Esta codependencia de la representación fonológica y la coherencia ortográfica se ha descrito en términos de un problema de mapeo (Brown y Ellis, 1994; Goswami, Ziegler, Dalton y Schneider,

2003). El niño necesita comprender cómo suenan los códigos del alfabeto. Los sonidos de los cuales es consciente el niño que aún no ha aprendido a leer son las «grandes» unidades de la sílaba, el principio y la rima. Las unidades impresas son letras solas. Las letras solas, por lo general, corresponden a los fonemas, y por lo tanto, hay una discordancia entre los niveles de fonología y de ortografía que debe mapearse para una lectura eficiente.

Para los niños que aprenden a leer ortografías alfabéticamente coherentes con una estructura de sílabas abierta (consonante-vocal o CV), el problema del mapeo es menos difícil. En dichas lenguas, como el italiano y el español, la segmentación principio-rima (disponible antes de la alfabetización) es equivalente a la segmentación fonémica (teóricamente aprendida a través de la alfabetización) de muchas palabras (por ejemplo, «casa», «mama»). El típico niño en desarrollo que ha organizado su vocabulario oral en términos de las unidades intrasilábicas de principio y rima se halla, entonces, bien ubicado para adquirir la capacidad de leer y escribir. Está aprendiendo una ortografía donde una letra coherentemente se proyecta («se mapea») a un fonema. Muchos de esos fonemas ya están representados en su léxico oral, porque *son* los principios y las rimas (por ejemplo, de una palabra como «casa», el principio-rimas son /k/ /a/ /z/ /a/ y lo mismo sucede con los fonemas). Los niños italianos y españoles habitualmente adquieren la lectura con mucha rapidez, y esto se muestra en la Tabla 12.2.

Los niños que están aprendiendo a leer ortografías alfabéticas coherentes con estructuras silábicas más complejas, como el alemán, se enfrentan a un problema de mapeo más difícil. En dichas lenguas, la segmentación principio-rima (disponible antes de la alfabetización) por lo general no es equivalente a la segmentación fonémica (en teoría, aprendida a través de la alfabetización) en la mayoría de las palabras. Ello se debe a que la mayoría de las palabras tienen codas (fonemas consonantes) después de la vocal (por ejemplo, *Hand*) o inicios complejos (grupos consonánticos) (por ejemplo, *Pflaum* [plum]). No obstante, para las lenguas como el alemán, una letra se mapea coherentemente con un fonema. Por consiguiente, las letras son una clave coherente para los fonemas. El niño alemán incluso tiene una ventaja, y ello también queda claro en la Tabla 12.2.

Tabla 12.1. Datos (% correctos) de cinco estudios que compararon la conciencia silábica y fonémica de niños que estaban aprendiendo a leer distintas lenguas europeas.

Lengua	Sílaba	Fonema
Griego ¹	98	50
Turco ²	94	67
Noruego ³	83	56
Alemán ⁴	81	51
Francés ⁵	73	32

Notas:

1= Harris y Giannoulis, 1999;

2= Durgunoglu y Oney, 1999;

3= Høien y cols., 1995;

4= Wimmer y cols., 1991;

5= Demont y Gombert, 1996.

Los niños que deben enfrentar el problema de mapeo más serio en la lectura inicial son aquellos que están aprendiendo a leer lenguas ortográficamente incoherentes que también tienen estructuras silábicas complejas. El mejor ejemplo es el inglés. Ello se debe a que, en el inglés, la segmentación principio-rima rara vez es equivalente a la segmentación fonémica. Además, una letra no se mapea coherentemente con un fonema en la lectura. Por consiguiente, la conciencia fonémica se desarrolla con relativa lentitud, al igual que el uso de las estrategias de recodificación grafema-fonema para leer palabras sueltas. Los niños ingleses también deben aprender a explotar regularidades más amplias en el sistema ortográfico, por ejemplo, usando «analogías» de rimas para que los ayuden a construir un vocabulario de lectura («*light*»-«*fight*», «*beak*»-«*weak*»), y deben aprender algunas palabras con patrones holísticos («*the*», «*choir*», «*people*»). Esta necesidad de desarrollar estrategias múltiples para leer con éxito puede ser una razón por la cual los niños que hablan inglés aparecen en la parte inferior de la Tabla 12.2.

Tabla 12.2 Datos (% correctos) del estudio COAST A8 de habilidades de recodificación grafema-fonema de monosílabos en 14 lenguas europeas (de Seymour, Aro y Erskine, 2003).

Lengua	Palabras reales familiares	No son palabras
Griego	98	97
Finlandés	98	98
Alemán	98	98
Alemán austriaco	97	97
Italiano	95	92
Español	95	93
Sueco	95	91
Holandés	95	90
Islandés	94	91
Noruego	92	93
Francés	79	88
Portugués	73	76
Danés	71	63
Inglés escocés	34	41

Consecuencias para la dislexia

Por razones que aún no se han determinado, a los niños disléxicos (aquellos que no aprenden a leer con facilidad, a pesar de tener un buen vocabulario y un CI normal) les resulta difícil representar mentalmente los patrones de sonidos de las palabras de su lengua en una forma detallada y específica. Sus «representaciones fonológicas» de las palabras en su vocabulario están subespecificadas o son confusas, y ello hace que les resulte difícil desarrollar una conciencia de la estructura interna del sonido de diferentes palabras (Snowling, 2000). Ello, a su vez, les dificulta aprender las relaciones entre las letras y los sonidos. Esto no se debe a que les resulta difícil aprender las letras, sino a que los sonidos con los

cuales tienen que hacer concordar las letras están relativamente poco especificados en el cerebro. A los niños disléxicos les resulta más difícil decidir si las palabras riman, contar las sílabas de una palabra, eliminar los sonidos al principio de las palabras («*star*» a «*tar*») e inventar espunerismos (Chuck Berry a Buck Cherry). Asimismo, les resulta muy difícil decodificar palabras sin sentido como «*dem*» y «*fiip*» (para una reseña, véase Goswami, 2003b).

El déficit primario en la dislexia del desarrollo en todas las lenguas parece involucrar problemas en la representación fonológica (la hipótesis de las «representaciones fonológicas», para una reseña, véanse Goswami, 2000a, 2000b; Snowling, 2000). Esta hipótesis está bien respaldada por muchos estudios de la psicología del desarrollo, la genética y las imágenes del cerebro, que no se analizarán aquí. No obstante, este «déficit fonológico» afecta la lectura en forma algo diferente dependiendo de la ortografía. Los problemas de alfabetismo son mayores para los niños que aprenden a leer ortografías incoherentes (por ejemplo, inglés) que ortografías coherentes (por ejemplo, italiano, alemán, griego). Según el análisis cognitivo desarrollado en la primera parte de este capítulo, ello no resulta sorprendente.

Los niños disléxicos que aprenden a leer inglés son lectores lentos e imprecisos, y nunca desarrollan una conciencia fonémica completa. Por el contrario, los niños disléxicos que aprenden a leer alemán o griego son lectores muy precisos, aunque son en extremo lentos. Por ejemplo, Porpodas (1999) encontró diferencias significativas en la conciencia fonémica entre los niños griegos de primer grado con dificultades de alfabetismo y los niños control con la misma edad cronológica (EC). Los niños «en riesgo» tuvieron un puntaje del 88% de respuestas correctas en una tarea de segmentación de fonemas en comparación con el 100% para los controles de la misma EC, y tuvieron un puntaje del 78% de respuestas correctas en una tarea de eliminación de fonemas en comparación con el 98% para los controles de la misma EC. También decodificaron en forma correcta el 93% de unidades simples que no eran palabras de 2 y 3 sílabas, en comparación con el 97% para los controles de la misma EC (una diferencia significativa). Un estudio similar de alumnos alemanes de primer grado «en riesgo» fue informado por Wimmer (1996). Él examinó el desempeño de una cohorte de niños

alemanes disléxicos de primer grado en una tarea de inversión de fonemas, antes de que se diagnosticara que eran disléxicos. Los niños «en riesgo» tuvieron un puntaje correcto del 22% en esta tarea en comparación con el 69% para los niños control. El 42% de los niños disléxicos no pudo abordar en absoluto la tarea. Wimmer también encontró que 7 de 12 niños alemanes que luego resultaron ser disléxicos leían con precisión menos que el 60% de las unidades simples que no eran palabras como «Mana» y «Aufo», en comparación con un desempeño promedio de respuestas correctas del 96% para los lectores principiantes que luego no exhibieron dislexia. A medida que se adquiría la lectura, este déficit de precisión en la lectura de unidades que no eran palabras desapareció. Cuando llegaron a los 10 años, Wimmer (1993) les dio a los mismos niños una tarea cronometrada de lectura de unidades que no eran palabras, basada en unidades que no eran palabras del tipo «italiano», con sílabas abiertas («ketu», «heleki», «tarulo»). Los niños disléxicos obtuvieron un puntaje correcto del 92%, y los niños control de la misma EC, del 96%.

Estos niveles de desempeño son impresionantes cuando se los compara con los niños disléxicos de habla inglesa. Por ejemplo, Bruck (1992) empleó una tarea de eliminación de fonemas con estímulos con unidades que no eran palabras. Les pidió a niños disléxicos de entre 8 y 15 años que eliminaran ya fuera el sonido inicial o el final de unidades que no eran palabras, tales como «snup» y «lusk». Los niños disléxicos contestaron correctamente en el 47% de las pruebas en comparación con el 77% de las pruebas para los niños de la misma EC. Una revisión abarcadora de lectura de unidades que no eran palabras en la dislexia del desarrollo en inglés fue presentada por Rack, Snowling y Olson (1992). Los índices de error para los niños disléxicos fueron altos, en general entre el 40% y el 60%. Hay que recordar que los niños alemanes disléxicos estudiados por Wimmer (1993) mostraron un índice de error del 8%. Esta diferencia a través de las lenguas es coherente con la opinión de que las habilidades de recodificación de grafema-fonema requieren más tiempo para convertirse en ortografías incoherentes, en especial para niños disléxicos.

Déficits básicos de procesamiento auditivo en la dislexia: La hipótesis de los centros P

Al buscar las causas del déficit en la representación fonológica en la dislexia del desarrollo, una clase popular de teorías ha sugerido que debe de haber déficits de menor nivel en el proceso auditivo básico (para una reseña, véase McArthur y Bishop, 2001). El habla es una señal muy compleja, por lo tanto, parece lógico que pudiera haber problemas al procesar la información auditiva en la dislexia que, a su vez, conducen a otros problemas al representarla con precisión. La señal del habla requiere un análisis espectral, temporal y basado en la frecuencia. El interés particular en la dislexia se ha concentrado en aspectos temporales del procesamiento de señales (por ejemplo, Tallal, 1980; Wright, Bowen y Zecker, 2000). No obstante, la mayoría de los estudios del procesamiento temporal se han concentrado en la información transitoria rápida, información que es importante para identificar los fonemas en la señal del habla. Sin embargo, desde el punto de vista del desarrollo, los déficits en la conciencia fonémica *vienen después* de problemas anteriores en la representación fonológica de las sílabas y del principio-rimas. Quizás el nivel del fonema es el sitio equivocado donde buscar un procesamiento auditivo básico. En cambio, puede resultar importante explorar posibles déficits en la representación de la información fonológica a niveles fonológicos que se desarrollan más temprano.

Hemos sostenido que una probable causa perceptiva de las dificultades características en la representación fonológica halladas en la dislexia es un déficit en la experiencia perceptiva de la cadencia rítmica (Goswami y cols., 2002). El ritmo del habla es una de las señales más tempranas usada por los lactantes para discriminar sílabas. La cadencia rítmica en parte depende del procesamiento del «centro P». Los centros P o «centros perceptivos» son eventos internos de las sílabas que determinan el ritmo del habla. Los adultos oyen sílabas que se alternan, como «ba» y «la», como no rítmicas en la cadencia cuando los tiempos de principio-principio de la sílaba son isócronos. Ello se debe a que la cadencia rítmica depende de que los centros P sean isócronos en vez de que lo sean los

principios de la sílaba. Los centros P (a veces denominados ritmos acentuales) están determinados, principalmente, por la estructura acústica de la modulación de la amplitud a índices relativamente bajos en la señal. El cambio en la amplitud en el principio de la sílaba en estos índices más bajos (el tiempo de subida de la amplitud) es particularmente importante. La estructura de la modulación de la amplitud en el principio de la sílaba está determinada, en gran medida, por el tiempo de subida de la vocal. Por ejemplo, en «ba», el principio oclusivo significa que la vocal aparece relativamente temprano en la sílaba. En «la», el principio sonoro significa que la vocal aparece relativamente tarde en la sílaba. Por consiguiente, para producir «la» y «ba» alternativamente con un ritmo regular, el hablante debe comenzar diciendo «la» relativamente temprano en comparación con «ba».

Debido a que los centros P dependen del tiempo de subida de la vocal, pueden constituir señales importantes para representar los segmentos principio-rima de las sílabas. Por lo tanto, es probable que tengan importantes vínculos con el desarrollo de la conciencia fonológica y el alfabetismo. Goswami y cols. (2002) midieron las funciones psicométricas para la detección del tiempo de subida de la amplitud en los niños disléxicos y en los niños control, y en los lectores precoces y en los respectivos controles. La detección del tiempo de subida se midió mediante una tarea de detección de «pulsos», sobre la base de un procedimiento de detección del cambio en la modulación del índice de amplitud. La tarea se basó en una senoide que se moduló en amplitud hasta una profundidad del 50%. Dentro de ella, el cambio del índice de amplitud solo se varió al variar el tiempo de subida de la modulación, mientras que el índice global de la modulación se mantuvo constante a 0,7 Hz (véase la Figura 12.1). Los tiempos de subida muy lentos (> 250 ms) provocan el percepto de un sonido continuo que varía en intensidad. Cuando el tiempo de subida se acorta lo suficiente, sin embargo, (por ejemplo, a 120 ms), el percepto cambia al de un sonido continuo con un «pulso» fuerte que ocurre en forma rítmica, a la misma velocidad que la modulación (Bregman, 1993; este pulso corresponde a los centros P de la secuencia rítmica). Los niños tuvieron que decidir si oían un pulso o no a medida que variaban los tiempos de subida.

A medida que variaba el tiempo de subida, los niños disléxicos, de hecho, mostraron una insensibilidad a las experiencias relacionadas con la modulación de la amplitud de la percepción de los pulsos. Las funciones psicométricas para los niños disléxicos mostraron pendientes mucho más planas que las de los controles de la misma EC con un CI equivalente (pendiente media = -0,03 para niños disléxicos [d. e. = 0,04] y -0,12 para los controles [d. e. = 0,08], $p < 0,000$), véase la Figura 12.2. Un grupo control de lectura de menor edad mostró pendientes intermedias (pendiente media = -0,06, d. e. = 0,05, disléxicos frente a controles de nivel de lectura, $p < 0,06$). La detección de pulsos en las señales de amplitud modulada (AM) fue, por lo tanto, menor en los niños disléxicos que en sus pares, y varió con el nivel de lectura. A niños lectores excepcionales y a controles con un CI equivalente también se los sometió a la tarea de cambio del índice de amplitud. Los lectores excepcionales fueron significativamente mejores en la tarea de detección de pulsos, con funciones psicométricas significativamente más precisas (lectores prematuros jóvenes, pendiente media = -0,14 [d. e. 0,06], controles equivalentes = -0,10 [d. e. 0,04], $p < 0,04$). La detección de pulsos también fue un fuerte predictor del progreso en la lectura y la ortografía en los niños disléxicos y sus controles, que representaron el 25% de la varianza en ambas habilidades después de controlar la edad, el CI no verbal y el vocabulario ($p < 0,0001$). Como se analizó previamente, la detección de pulsos en las secuencias AM, como las empleadas en nuestro trabajo, corresponden teóricamente a la detección de «centros perceptivos» o centros P, en señales acústicas, que son importantes para el procesamiento rítmico. Ello sugiere vínculos interesantes con el trabajo de Petitto y colegas (este libro). Mediante una exploración del balbuceo manual en bebés sordos, sostienen que el centro de la capacidad del lenguaje humano es una sensibilidad a patrones rítmicos específicos a la velocidad de la sílaba. La tarea de detección de pulsos es, en esencia, la medición de la sensibilidad de los niños a dichos patrones rítmicos en la modalidad auditiva.

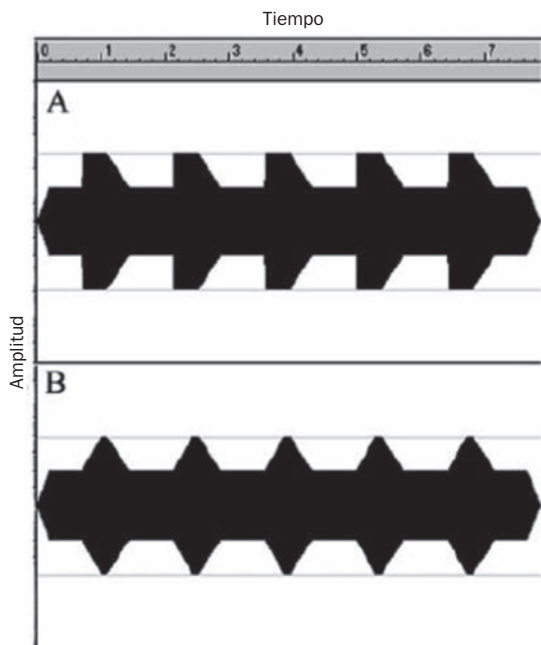


Figura 12.1 Descripción esquemática de los estímulos empleados que varían en el tiempo de subida. El panel (A) describe un tiempo de subida de 15 ms, el panel (B) describe un tiempo de subida de 300 ms. El tiempo de subida de 15 ms provoca un percepto de un pulso definido que se superpone a un segundo sonido portador; el tiempo de subida de 300 ms provoca el percepto de un único sonido que aumenta y disminuye en intensidad.

La representación neuronal del tiempo de subida

Más recientemente, hemos comenzado a investigar el perfil neuronal para el procesamiento del tiempo de subida en nuestros niños disléxicos y en los que progresan normalmente (Thomson, Baldeweg y Goswami, 2004). Los mismos niños disléxicos y los controles que se estudiaron en el año 2002 volvieron al laboratorio para participar en un estudio de neuroimágenes del procesamiento del tiempo de subida basado en respuestas de potenciales evocados (RPE). Las RPE permiten que se estudien los tiempos de los eventos neuronales. Los electrodos sensibles se colocan en la piel

del cuero cabelludo del niño, y se registra la actividad cerebral. Las deflexiones sistemáticas en la actividad eléctrica ocurren para preceder, acompañar o seguir los eventos determinados por el experimentador. Las medidas de desenlace más usuales son (i) la latencia de los potenciales, (ii) la amplitud (magnitud) de los diversos cambios positivos y negativos en la respuesta neuronal y (iii) la distribución de la actividad. Los diferentes potenciales (caracterizados en innumerables estudios de RPE) se denominan N100, P200, N400, etcétera, lo que denota un pico negativo (N) a los 100 ms, un pico positivo (P) a los 200 ms, y así sucesivamente.

Para nuestros fines, estábamos en particular interesados en la respuesta N100 a diferentes tiempos de subida. También estábamos interesados en posibles respuestas de potencial de disparidad (PD) a los cambios en el tiempo de subida. El N100 es un componente auditivo temprano que significa la *detección* de los eventos auditivos. El PD es una medida preatencional de la detección automática del *cambio* auditivo. Se cree que el PD se basa en la comparación que el cerebro hace de los eventos que ingresan con un rastro ecoico de eventos previos. Nuestros niños oyeron tiempos de subida de ya sea 15 ms o de 90 ms con auriculares mientras miraban un video sin sonido. En el 90% de las ocasiones, se oyó el tiempo de subida de 15 ms, y en el 5% de las ocasiones, el tiempo de subida de 90 ms (o viceversa, a esto se denomina paradigma «experimental» [*oddball*]). El estímulo oído en el 5% de las ocasiones es el excéntrico). En el otro 5% de las ocasiones, hubo un cambio en el tono del estímulo. Ya se sabe que los niños disléxicos muestran una respuesta de PD a los cambios en los tonos (véase Baldeweg y cols., 1999). El estímulo excéntrico del tono se incluyó como una medida de control, para verificar que las respuestas de PD tuvieran lugar en nuestra muestra.

Dada nuestra hipótesis acerca del procesamiento del centro P disfuncional en la dislexia, nuestro interés se centró en la respuesta N100 de los niños a los dos tiempos de subida y sus respuestas de PD a los estímulos infrecuentes en el tiempo de subida. En el momento en el que escribo, solo catorce niños han sido examinados (cuatro disléxicos, seis controles de nivel de lectura [NL] más jóvenes, cuatro controles de la misma EC; se empleó la referencia nasal). Sin embargo, se han hallado patrones muy claros de respuestas N100. La bibliografía previa ha destacado la mayor coherencia de las

deflexiones N100 temporales en los niños preadolescentes (véase Bruneau y cols., 1997). Para los estímulos de tiempo de subida de 15 ms, todos los grupos mostraron un N100 claro en los sitios de los electrodos temporales. La amplitud de esta respuesta fue mucho mayor en los niños más jóvenes que se desarrollaban normalmente (los controles NL, respuesta alrededor de -3,5 microvoltios) que en los controles de la misma EC (los niños de la misma edad que la de los niños disléxicos, -1,5 microvoltios). La amplitud de la N100 en los disléxicos fue casi exactamente la misma que en los niños control NL más jóvenes. Se halló un patrón similar para los estímulos de tiempo de subida de 90 ms, aunque aquí se redujeron todas las amplitudes. Nuevamente, sin embargo, la respuesta N100 de los niños NL más jóvenes fue el doble que la de los niños de la misma EC más grandes. Las amplitudes N100 de los niños disléxicos correspondieron a aquellas de los controles NL más jóvenes.

Estos hallazgos sugieren que los sistemas auditivos de los niños disléxicos son inmaduros más que defectuosos. Los cerebros de los niños disléxicos están respondiendo del mismo modo al tiempo de subida de la amplitud que los cerebros de los niños de desarrollo normal, más jóvenes. Las respuestas neuronales de los niños disléxicos son aquellas adecuadas para su nivel de lectura más que para su edad. Según nuestros datos, la amplitud de la N100 también se correlacionó de manera significativa con el desempeño conductual en una tarea de discriminación del tiempo de subida, como era de esperarse (por ej.: $r = 0,60$; electrodo temporal T5; $r = 0,69$; electrodo temporal MI, $p < 0,01$; las regiones temporales del cerebro son aquellas especializadas en el procesamiento del lenguaje). Estos patrones son, al menos, sugerentes de la posibilidad de que la lectura en los niños disléxicos ha evolucionado hasta el punto que se esperaría dadas sus capacidades de procesamiento auditivo (y, en consecuencia, el desarrollo de sus sistemas fonológicos). No obstante, dado que los datos son puramente correlacionales, el desarrollo de la lectura en sí mismo podría mejorar el procesamiento del tiempo de subida en los niños. Se requieren datos longitudinales para distinguir entre estas dos posibilidades.

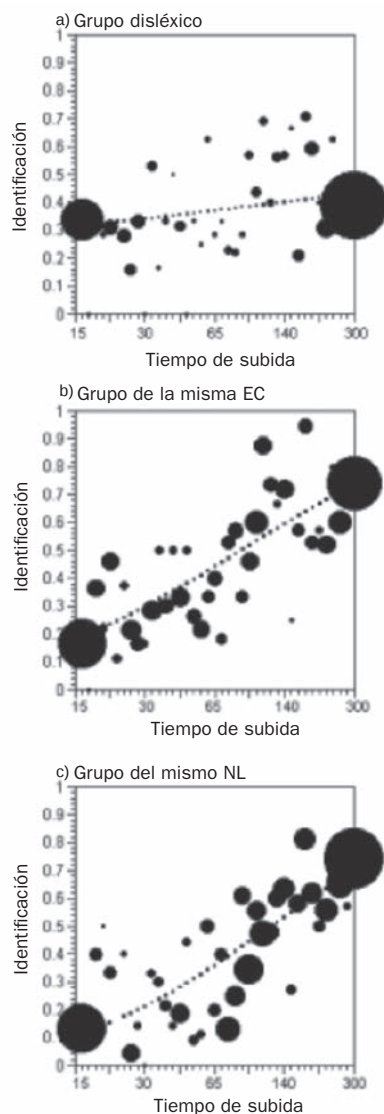


Figura 12.2 Funciones psicométricas para la identificación del estímulo como un sonido (proporción) de (a) el grupo disléxico, (b) el grupo control de la misma EC y (c) el grupo control NL en la tarea de detección del pulso. El tamaño de los círculos refleja el número de respuestas. Los niños disléxicos muestran funciones significativamente más planas, lo que indica una sensibilidad reducida al tiempo de subida de la modulación de la amplitud.

Conclusiones

La conciencia fonológica y la adquisición del alfabetismo están relacionadas causalmente. Los niños con representaciones fonológicas bien especificadas de las palabras en sus léxicos mentales se convierten en mejores lectores. Un factor importante en el desarrollo de las representaciones fonológicas bien especificadas es la percepción de los aspectos suprasilábicos del flujo del habla, tal como el ritmo del habla. Por ejemplo, la información acerca de los centros perceptivos de las sílabas relacionados con su segmentación en unidades principio-rima es teóricamente importante. Los niños disléxicos tienen un déficit, probablemente de origen neuronal, en la percepción de los tiempos de subida de la amplitud, que interferirían con la detección del centro P. Este déficit teóricamente interfiere con el desarrollo de la conciencia fonológica en los niveles de la sílaba, inicio y rima antes de la adquisición del alfabetismo, y es probable que también interfiera con la representación de la información fonémica una vez que el niño es alfabetizado.

Es importante el hecho de que la coherencia ortográfica facilita el desarrollo de la conciencia de los fonemas en los niños de desarrollo normal y en los niños disléxicos. Los niños disléxicos que aprenden ortografías coherentes pueden usar correspondencias entre las letras y los sonidos como una ayuda para representar la fonología tanto en el nivel principio-rima como en el del fonema. Pueden compensar, en cierta medida, sus dificultades neuronales con la representación fonológica usando el conocimiento de las letras. Los niños disléxicos que aprenden a leer ortografías menos coherentes, como el inglés, no pueden emplear este proceso que les serviría de apoyo (*bootstrapping*). Los niños disléxicos de habla inglesa muestran un déficit persistente en el nivel del fonema, que continúa entrada la adultez. Estos déficits persistentes parecen deberse, en parte, a la naturaleza incoherente de la ortografía que tienen que aprender para leer.

Según este análisis translingüístico, un déficit en la conciencia fonémica no es en realidad una *causa* de los problemas que los niños disléxicos tienen con la lectura. Más bien, la dificultad con la lectura es provocada por un problema preexistente con la representación fonológica, que obstaculiza el aprendizaje de las letras y el aprendizaje de los fonemas. Este problema de aprendizaje puede mejorarse, en cierta medida, aprendiendo a leer una ortografía co-

herente. Un desafío futuro es examinar las respuestas neuronales a las señales auditivas, como el tiempo de subida translingüísticamente, a fin de caracterizar con mayor precisión la relación entre el proceso rítmico, la representación fonológica y el alfabetismo.

Referencias

- Baldeweg, T., Richardson, A., Watkins, S., Foale, C. y Gruzelier, J. (1999). *Ann. Neurology*, 45(4), 495-503.
- Bradley, L. y Bryant, P. E. (1983). «Categorising sounds and learning to read: A causal connection», *Nature*, 310, 419-421.
- Bregman, A. S. (1993). «Auditory scene analysis: hearing in complex environments», en S. McAdams y E. Bigand (comps.), *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Human Audition* (págs. 10-36), Oxford, Oxford University Press.
- Brown, G. D. A. y Ellis, N. C. (1994). «Issues in spelling research», en G. D. A. Brown y N. C. Ellis (comps.), *Handbook of Spelling: Theory, Process and Intervention* (págs. 3-25), Chichester, Wiley.
- Bruck, M. (1992). «Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits», *Developmental Psychology*, 28, 874-886.
- Bruneau, N., Roux, S., Guerin, P., Barthélémy, C. y Lelord, G. (1997). «Temporal prominence of auditory evoked potentials (N1 wave) in 4- 8- year-old children», *Psychophysiology*, 34, 32-38.
- Cossu, G., Shankweiler, D., Liberman, I. Y., Katz, L. y Tola, G. (1988). «Awareness of phonological segments and reading ability in Italian children», *Applied Psycholinguistics*, 9, 1-16.
- Goswami, U. (2000a). «Phonological representations, reading development and dyslexia: Towards a cross-linguistic theoretical framework», *Dyslexia*, 6, 133-151.
- (2000b). «The potential of a neuro-constructivist framework for developmental dyslexia: The abnormal development of phonological representations?», *Developmental Science*, 3, 27-29.
- (2002). «In the beginning was the rhyme? A reflection on Hulme, Hatcher, Nation, Brown, Adams & Stuart, 2002», *Journal of Experimental Child Psychology*, 82, 47-57.
- (2003a). «Phonology, learning to read and dyslexia: A cross-linguistic analysis», en V. Csepe (comp.), *Dyslexia: Different*

- Brain, Different Behaviour* (págs. 1-40), Países Bajos, Kluwer Academic.
- (2003b). «Why theories about developmental dyslexia require developmental designs», *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 534-540.
- Goswami, U., Thomson, J., Richardson, U., Stainthorp, R., Hughes, D., Rosen, S. y Scott, S. K. (2002). «Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: A new hypothesis», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (16), 10911-10916.
- Goswami, U., Ziegler, J., Dalton, L. y Schneider, W. (2003). «Nonword reading across orthographies: How flexible is the choice of reading units?», *Applied Psycholinguistics*, 24, 235-247.
- Høien, T., Lundberg, L., Stanovich, K. E. y Bjaalid, I. K. (1995). «Components of phonological awareness», *Reading and Writing*, 7, 171-188.
- Liberman, I. Y., Shankweiler, D., Fischer, F. W. y Carter, B. (1974). «Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child», *Journal of Experimental Child Psychology*, 18, 201-212.
- McArthur, G. M. y Bishop, D. V. M. (2001). «Auditory perceptual processing in people with reading and oral language impairments: Current issues and recommendations», *Dyslexia*, 7, 150-170.
- Porpodas, C. D. (1999). «Patterns of phonological and memory processing in beginning readers and spellers of Greek», *Journal of Learning Disabilities*, 32, 406-416.
- Rack, J. P., Snowling, M. J. y Olson, R. (1992). «The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review», *Reading Research Quarterly*, 27, 29-53.
- Siok, W. T. y Fletcher, P. (2001). «The role of phonological awareness and visual-orthographic skills in Chinese reading acquisition», *Developmental Psychology*, 37, 886-899.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia*, 2.^a edición, Oxford, Blackwells.
- Tallal, P. (1980). «Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children», *Brain & Language*, 9, 182-198.
- Thomson, J., Baldeweg, T. y Goswami, U. (2004). *Amplitude envelope onsets and dyslexia: a behavioural and electrophysiological study*, póster presentado en la Conferencia Anual de la Sociedad para el Estudio Científico de la Lectura, Ámsterdam, junio de 2004.

- Wimmer, H. (1993). «Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system», *Applied Psycholinguistics*, 14, 1-33.
- (1996) «The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children», *Reading and Writing*, 8, 171-188.
- Wright, B. A., Bowen, R. W. y Zecker, S. G. (2000). «Nonlinguistic perceptual deficits associated with reading and language disorders», *Current Opinions in Neurobiology*, 10, 482-486.

Imágenes corticales del lenguaje temprano y del desarrollo fonético obtenidas mediante el uso de la espectroscopia de infrarrojo cercano

Laura-Ann Petitto

Introducción

La neurociencia educativa proporciona poderosas herramientas y un nuevo conocimiento para ayudar a los investigadores y a los educadores a basarse en la neurociencia cognitiva a fin de abrir nuevas perspectivas para la educación y para la rehabilitación de los niños en riesgo. Una nueva herramienta prometedora es la Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (EIC), que puede emplearse con niños muy jóvenes para explorar muchas capacidades y desempeños cognitivos. En particular, la EIC proporciona evidencia robusta de la existencia de redes neuronales específicas del lenguaje en los lactantes mucho antes de que puedan hablar. Para los estímulos lingüísticos, las redes incluyen la circunvolución temporal superior izquierda y el área de Broca, áreas que están fuertemente involucradas en el lenguaje, en niños mayores y adultos. La investigación por imágenes del cerebro puede proporcionar argumentos y estudios nuevos para un modelo de adquisición del lenguaje sobre la base de la existencia temprana de áreas lingüísticas específicas. La investigación de la neurociencia educativa puede abordar muchas otras cuestiones pertinentes desde el punto de vista educativo de modo similar.

Los compiladores

Las revoluciones pueden originarse en lugares improbables. Ya alrededor de veinte años atrás, los investigadores, en los sótanos inferiores de los hospitales, comenzaron a usar una nueva tecnología de imágenes cerebrales para mirar dentro de los cráneos de voluntarios mientras estaban activos y realizar una serie de tareas cognitivas. Esta fascinante tecnología de las imágenes, diseñada para detectar áreas del cerebro que consumían más oxígeno que otras durante tareas cognitivas específicas, se utilizó para descubrir cómo estaba organizado el cerebro y qué sistemas de áreas neuronales posibilitaban las espectaculares funciones mentales de las que gozamos los seres humanos. Junto con estos estudios de la neurociencia cognitiva en adultos, los investigadores en las disciplinas de la ciencia cognitiva, la psicología cognitiva y la psicología social, entre otras, estaban logrando progresos fundamentales respecto de nuestros mundos perceptivo, cognitivo y social.

Con una elegante experimentación sobre el comportamiento, otros investigadores en los campos del desarrollo de los niños y de su lenguaje comenzaron el cuidadoso estudio de los niños. Examinaron tanto las capacidades aprendidas como las no aprendidas que los lactantes aplican cuando oyen sonidos, balbucean, comprenden y producen lenguaje, descubren conceptos de números y de matemáticas, perciben caras y objetos en su mundo, aprenden y crecen, así como también cómo estas capacidades interactúan con características cruciales hasta convertirse en adultos sanos. Con rapidez, siguió el uso de nuevas tecnologías de imágenes cerebrales en niños para identificar las vías neuronales que contribuyen al domino del niño de dicho contenido, con un nuevo impulso hacia el estudio del *curso* y la *secuencia temporales*, momento en el que es más probable que el niño desarrolle estas capacidades y las incremente. Estos hallazgos de la investigación sugirieron puntos de entrada óptimos para la enseñanza, la motivación y el aprendizaje de contenidos específicos en edades específicas durante el desarrollo. Además, nuevos hallazgos de la investigación que surgieron de los científicos, profesionales médicos y clínicos, y educadores confirmaron que el contexto social del niño en crecimiento era vital: las familias, las comunidades y las escuelas tienen el potencial de influir en forma positiva en el desarrollo de los niños mediante intervenciones sistemáticas y oportunas.

En poco tiempo, un grupo de personas de una diversidad de disciplinas estaba haciendo descubrimientos extraordinarios acer-

ca de cómo los niños crecen, adquieren el lenguaje, piensan, razonan, aprenden una variedad de habilidades y adquieren conocimientos (incluida la lectura, la matemática y la ciencia), y cómo conceptualizan su mundo social, emocional y moral. De ahí, nació la revolución en la educación.

Los investigadores y también los educadores comenzaron a converger en mecanismos básicos educativamente importantes en el aprendizaje a través de diversas áreas de contenido que interactúan y cambian en forma dinámica a través del tiempo. De hecho, estos descubrimientos extraordinarios acerca del cerebro en desarrollo y el medio del niño han provocado una revolución dentro de la educación de la magnitud observada solo una vez antes en el siglo anterior, cuando las etapas de desarrollo del niño, de Piaget, arrasaron el mundo y sirvieron como el Santo Grial sobre el cual se basaron los programas escolares. Recientemente, esta excitante y novedosa unión entre investigadores, educadores y médicos se ha denominado *Neurociencia Educativa* (por ejemplo, Petitto y Dunbar, 2004). La neurociencia educativa une a individuos con distinta formación, incluidos científicos de la ciencia cognitiva, científicos del aprendizaje, médicos y clínicos, y aquellos involucrados en la política educativa y la enseñanza, quienes están juntos en su compromiso mutuo de resolver los problemas prevalecientes en las vidas de los niños en desarrollo, de comprender las capacidades de aprendizaje humanas a lo largo de la vida (tanto en el cerebro como en el comportamiento) y de basar el cambio educativo en la aplicación de una investigación regida por fuertes principios que utiliza tanto la metodología conductual así como también una multitud de metodologías modernas, incluidas las imágenes del cerebro (por ejemplo, Petitto y Dunbar).

Los mayores peligros serán evitar la expectativa reduccionista (Mittelstrass, este libro), que sostiene que cada aspecto de la vida mental puede y debe ser identificado por una actividad neuronal específica antes de avanzar con la elaboración de una política educativa, y siempre deberemos ser conscientes de que los cerebros en desarrollo de los niños reciben un impacto directo de las situaciones y de los contextos en los que se encuentran; la biología y el medio deben trabajar mano a mano (Singer, este libro). Con estos factores en mente, sin embargo, el único campo interdisciplinario de la neurociencia educativa ya ha producido notables progresos en nuestra comprensión de las formas óptimas de educar a niños

jóvenes en una variedad de áreas de contenido (por ejemplo, el lenguaje y el bilingüismo, la lectura, la matemática y la ciencia) y ya ha proporcionado una importante comprensión de trastornos del desarrollo particulares. A modo de ejemplo, ya ha habido una serie completa de herramientas de evaluación, tratamientos e intervención educativa más adecuada para niños con, por ejemplo, trastorno de déficit de atención e hiperactividad, síndrome de Asperger y autismo. Lo mismo sucede con los niños con desarrollo atípico del lenguaje, como la dislexia y una deficiencia específica del lenguaje.

La identificación de «períodos sensibles» en el desarrollo ha dado lugar a un discernimiento respecto de cuándo el aprendizaje de contenido clave es en particular óptimo (para una reseña crítica, véase Bruer, este libro). Por ejemplo, se ha llegado a un mejor discernimiento de cuándo introducir lenguas extranjeras en los planes de estudio, de si los métodos de enseñanza de lectura fonética respecto de la palabra completa son los óptimos, de cómo las actividades de enseñanza de la conciencia fonológica pueden mejorar a los lectores buenos y atípicos (por ejemplo, disléxicos, Shaywitz y cols., 1998), y de la secuencia del desarrollo que subyace tras el aprendizaje de la matemática y la ciencia, lo cual ha comenzado a tener un impacto en los planes de estudio educativos (véanse Byrnes y Fox, 1998; Geake, 2003, 2004; Geake y Cooper, 2003; Goswami, 2004; O'Boyle y Gill, 1998, para excelentes análisis de dichos progresos).

A continuación, incluyo un ejemplo de un hallazgo de una investigación de la neurociencia educativa. Se trata de un hallazgo de la «neurociencia educativa» específicamente, porque une (i) los hallazgos de las imágenes de la neurociencia cognitiva acerca del cerebro, (ii) los métodos y los contenidos conductuales establecidos (aquí, del lenguaje del niño) y (iii) una aplicación basada en principios a las prioridades de la educación nacional (aquí, la identificación y la rehabilitación tempranas de niños pequeños en riesgo de tener trastornos del lenguaje). De modo crucial, el hallazgo que ha hecho la neurociencia educativa puede promover dicho campo (el lenguaje de los niños) así como también el campo más amplio de la educación *de modos que no se podrían haber empleado antes simplemente usando solo los métodos conductuales u observacionales*.

Nuestro ejemplo específico preguntará cómo los lactantes descubren el conjunto finito de unidades fonéticas que constituirán la base de la totalidad de su lenguaje a partir del flujo lingüístico y perceptivo que varía constantemente a su alrededor. Los intentos

tradicionales por responder esta pregunta han empleado, en gran medida, los métodos conductuales con lactantes *para inferir* si los mecanismos lingüísticos específicos frente a los perceptivos generales subyacen tras esta capacidad. Aquí mostramos cómo una nueva tecnología de imágenes del cerebro puede arrojar nueva luz para resolver esta cuestión, que data de décadas, en el lenguaje del niño, a la vez que proporciona una herramienta nueva que puede ayudar en la identificación temprana y la educación de bebés con riesgo de presentar trastornos del lenguaje, incluso antes de que emitan sus primeras palabras.

Fuera del caos de imágenes y de sonidos de nuestro mundo, todos los bebés humanos descubren el conjunto finito de unidades fonéticas que forman la base de todo su idioma nativo, aproximadamente, para los 10 meses de edad. Durante cuatro décadas, un acalorado debate científico se ha centrado en cómo esto es posible, cómo los lactantes llegan a tener esta extraordinaria capacidad. Algunos sostuvieron que esta capacidad refleja la superioridad neuronal de nuestra especie para procesar propiedades específicas del *lenguaje* natural, mientras que otros sostuvieron que esta capacidad se construye a partir de mecanismos de *percepción* general.

La pregunta acerca de cómo los lactantes descubren los primeros elementos básicos de su lenguaje a partir del flujo de sonidos y de imágenes que los rodean ha sido la pregunta inminente en la adquisición del lenguaje del niño desde la década de los sesenta. Décadas de investigación mostraron que los bebés (menores de 6 meses) demuestran una capacidad inicial de discriminar todos los contrastes fonéticos de los lenguajes del mundo, incluidos los contrastes fonéticos orales nativos y no nativos (idioma extranjero), sin ni siquiera haberlos oído antes. No obstante, para los 10-12 meses de edad, los bebés se comportan como adultos y discriminan solo los contrastes fonéticos nativos, como si su abierta capacidad inicial hubiera fijado (o deducido o sintonizado neurológicamente), a lo largo del desarrollo, los contrastes específicos del lenguaje presentes en su medio (para una reseña, véanse Jusczyk, 1997; también Eimas, 1975; Eimas, Siqueland, Jusczyk y Vigorito, 1971; Kuhl, 1979; Polka y Werker, 1994; Stager y Werker, 1997; Werker, Cohen, Lloyd, Casasola y Stager, 1998; Werker y Lalonde, 1988; Werker y Stager, 2000; Werker y Tees, 1983, 1999). Por lo tanto, se pensó que los niños estaban dotados de manera innata de un

mecanismo de *lenguaje* especializado para segmentar y procesar las unidades fonéticas *per se*.

Sin embargo, la afirmación de que existe un mecanismo de lenguaje especializado en los lactantes ha sido cuestionada por varias líneas de investigación. Esta ha sido debilitada por la investigación que muestra que ciertos animales no humanos también exhiben discriminación categórica respecto de los sonidos del habla humana (Kluender, Diehl y Killeen, 1987; Kuhl, 1981; Kuhl y Miller, 1975, 1978; Kuhl y Padden, 1982, 1983; Morse y Snowdon, 1975; Waters y Wilson, 1976), y por la investigación que muestra la discriminación categórica de los lactantes respecto de algunos sonidos que no son habla (Jusczyk y cols., 1977). Asimismo, se ha demostrado que los lactantes humanos y los monos tití cabeza blanca pueden discriminar oraciones de lenguas que no les son familiares, como el holandés y el japonés, cuando se les hacen oír las oraciones en el sentido correcto, pero no cuando se las pasa en el sentido inverso (Ramus, Hauser, Miller, Morris y Mehler, 2000). Además, se ha demostrado que tanto los lactantes humanos como los monos tití cabeza blanca pueden discriminar entre sílabas que diferían solo en la frecuencia en la cual ocurrían en los flujos de habla (Hauser, Newport y Aslin, 2001; Saffran, Aslin y Newport, 1996). Sobre la base de estos hallazgos, muchos investigadores han rechazado la opinión de que los lactantes tienen mecanismos especializados para el procesamiento lingüístico/fonético. En cambio, se ha sugerido que la percepción del habla/lenguaje en lactantes puede explicarse mejor mediante mecanismos *auditivos* (perceptivos) generales también presentes en otras especies (Aslin, 1987; Jusczyk, 1985).

Una razón intrigante de la notable perseverancia de este debate se debe al hecho de que la pregunta empírica —tanto en su forma anterior como en la actual— ha sido *a priori* en gran medida incontestable. Con más precisión, toda la investigación realizada hasta la fecha ha utilizado el habla y el sonido para analizar si el habla y el sonido son clave para esta capacidad de categorización. Como resultado, la distinción específica (fonética/lenguaje) frente a la general (auditiva/perceptiva) para los procesos que impulsan la percepción del lenguaje no se ha podido separar en forma experimental, lo cual hace que la ciencia contemporánea no pueda decidir entre la hipótesis de la representación fonética y la hipótesis de la representación auditiva general (perceptiva general). Evidencia

reciente de Baker, Sootsman, Golinkoff y Petitto (2003), Baker, Idsardi, Golinkoff y Petitto (2005), Baker, Golinkoff y Petitto (2006), y Baker, Groh, Cohen y Petitto (presentada) ha arrojado nueva luz sobre este debate al proporcionar evidencia conductual de que estas habilidades tempranas de procesamiento fonético son específicas del lenguaje más que las auditivas/perceptivas generales. Además, son muy específicas de los seres humanos, dado que no se observan en los primates que no son humanos, como los monos, que Petitto y colegas también estudiaron en comparación con los lactantes (Baker, Groh, Cohen y Petitto, presentada). Usando el Laboratorio de Habitación de Lactantes de Petitto, Petitto y colegas mostraron que los lactantes de 4 meses con audición que habían sido expuestos al habla podían discriminar las formas fonéticas de las manos del Lenguaje de Señas Estadounidense (LSE) según la categoría. Es decir, las trataban como verdaderas unidades lingüísticas/fonéticas del mismo modo que los lactantes con audición, por ejemplo, expuestos al inglés, pueden, sin embargo, discriminar unidades fonéticas en hindi (aunque los lactantes nunca las hubieran oído; Stager y Werker, 1997; Werker y cols., 1998; Werker y Stager, 2000; y otros estudios clásicos: véase Jusczyk, 1997, para una reseña). De modo crucial, estos lactantes no discriminaban las formas que adquirirían las manos a los 14 meses, como en los resultados de percepción del habla. Los monos nunca mostraron la habilidad de discriminar unidades fonéticas con señas de manos, y se desempeñaron de modo similar a los lactantes de 14 meses que no identificaban las categorías. Por consiguiente, sobre la base de estudios conductuales, el procesamiento fonético temprano y el desarrollo de categorías fonéticas pueden ser «específicos de la lingüística» y no un resultado del procesamiento perceptivo general.

Nuevas contribuciones de las neuroimágenes de la EIC

Si bien nuestros estudios conductuales de la discriminación fonética proporcionaron claves tentadoras acerca de cómo el bebé puede analizar el estímulo, falta una pieza importante del rompecabezas: si los *cerebros* de los niños de hecho utilizan *sitios* específicamente *lingüísticos*, clásicamente comprendidos, y *redes neuronales lingüísticas* para realizar estas discriminaciones fonéticas o si utilizan otras áreas asociadas con la percepción general de los

estímulos (ya sean visuales o auditivos). Si el caso es el primero, ¿cuál es el lapso del desarrollo de estas áreas neuronales que subyacen bajo el procesamiento del lenguaje? Conocer esta importante información constituye una «pieza faltante» crucial de este rompecabezas imperante y, de hecho, contribuiría de modo fundamental con nuestro conocimiento de esta cuestión vital del desarrollo humano en una forma que previamente no era posible.

Para responder esta pregunta, nos basamos en experimentos conductuales previos con una serie de nuevos experimentos relacionados que utilizan tecnología de neuroimágenes de vanguardia, la *Espectroscopia de Infrarrojo Cercano* (EIC), para investigar los correlatos neuronales de las capacidades del procesamiento fonético en desarrollo de los lactantes. La EIC es una tecnología óptica no invasiva que, como la RMNf, mide la actividad cerebral hemodinámica del cerebro y, entonces, permite que uno «vea» dentro del cerebro de niños y de adultos mientras están procesando aspectos específicos de una tarea. A diferencia de la RMNf, la EIC es sumamente portátil, fácil de usar con niños, tolera más movimiento que la RMNf y puede usarse con participantes alertas (vocalizando o hablando).

Solo tres estudios habían usado la tecnología de la EIC para estudiar la cognición de los lactantes humanos, específicamente, la permanencia de los objetos (Baird y cols., 2002) y las emociones (Sakatani, Chen, Lichty, Zuo y Wang, 1999; Zaramella y cols., 2001), todos con gran éxito. Además, un estudio había analizado el procesamiento del lenguaje en lactantes (Peña y cols., 2003), aunque se empezaron a hacer comparaciones muy burdas acerca de si la activación ocurría en el hemisferio derecho o en el izquierdo. Con excepción de la investigación actual, ningún estudio había analizado la activación *focal* del desarrollo del lenguaje en niños, analizando las diferencias *dentro del hemisferio* en los lactantes.

En nuestros estudios con EIC del procesamiento neuronal del lenguaje y los estímulos perceptivos de los lactantes, empleamos tareas conductuales estandarizadas (incluida la percepción visual general y el procesamiento del lenguaje), que se llevaron a cabo con lactantes en nuestro Laboratorio de Habitación (paradigma clásico visual/de discriminación de los lactantes). A la vez, los lactantes también fueron sometidos a registros cerebrales con EIC para analizar hipótesis neuroanatómicas específicas dentro del hemisferio acerca del tejido neuronal focal (y redes del tejido neuronal) en re-

lación con sus funciones de procesamiento perceptivas generales frente a las lingüísticas. Un conjunto de sondas de silicona (o portasondas) contenía las fibras ópticas, y las sondas fueron colocadas en la cabeza del participante con una suave vincha de toalla (véase la fotografía 13A). Se efectuaron varios estudios piloto en lactantes y en adultos, de los cuales solo un subgrupo realizado en lactantes se presenta aquí (un informe completo aparece en Petitto, Baker, Baird, Kovelman y Norton, 2004; Petitto, Baker, Kovelman y Shalinsky, en preparación).

(a)



Fotografía 13A Colocación temporal típica (lactante).

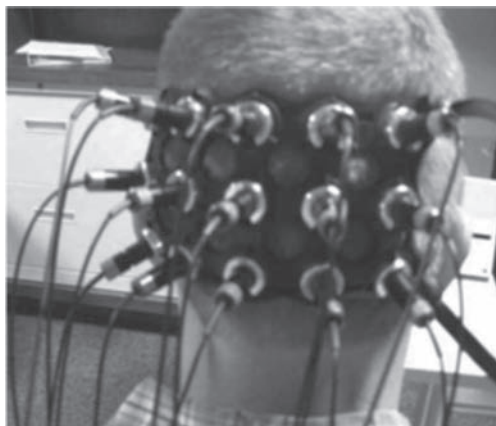
Para el registro de la EIC, empleamos el sistema de imágenes cerebrales estándar actualmente disponible y utilizado por otros: el dispositivo EIC ETG-100 de Hitachi, que registra simultáneamente 24 canales ubicados en la corteza. Los canales principalmente registran y miden los cambios vasculares de la corteza que se encuentran a 2 o 3 cm por debajo del cuero cabelludo. El ETG-100 emite una luz infrarroja a dos longitudes de onda, 780 y 830 nm, a través de las fibras (distancia entre óptodos: 2 cm). Se utilizan dos longitudes de onda diferentes debido a los distintos patrones de absorción característicos de la oxihemoglobina (HbO) y la desoxihemoglobina (Hb) (Villringer y Chance, 1997). Se hace un muestreo de la luz no absorbida una vez cada 100 ms. La señal entrante en un detector dado está compuesta por ambas longitudes de onda fuente y se separa mediante una detección sincrónica (*lock-in*) empleando las dos señales fuente como referencia. Estos dos compo-

nentes pasan por un filtro de paso bajo a 20 Hz para eliminar las señales autonómicas (por ejemplo, los latidos del corazón y la respiración) y son digitalizados por una computadora. Una computadora convierte los cambios en la absorción del oxígeno en cada longitud de onda en cambios de la concentración relativa en los cromóforos cerebrales, HbO y Hb. La suma de los cambios en la HbO y la Hb permite calcular los cambios en la hemoglobina total (HbT) en respuesta a la tarea, el control y las condiciones basales.

Los conjuntos de sondas de la EIC se colocaron en dos áreas, temporal y occipital. Para asegurar la precisión neuroanatómica en la colocación de los conjuntos de sondas, se ubicaron en el cráneo utilizando el siguiente método sumamente sistemático. La primera posición, las *sondas temporales*, utiliza dos conjuntos de sondas, cada una de las cuales contiene nueve fibras ópticas de 1 mm de diámetro. Un conjunto se ubicó en el hemisferio izquierdo (HI), y el otro se ubicó en el hemisferio derecho (HD). Las sondas se colocaron de manera tal de maximizar la probabilidad de monitorear las áreas frontal y temporal, en particular, el área de Broca y la circunvolución temporal superior. De las nueve fibras por sonda, cinco eran emisoras, y cuatro eran detectoras. Las fibras se ubicaron a 2 cm de distancia entre sí, con lo cual se obtuvieron doce sitios de registro por hemisferio (canales = 24). Cada canal corresponde a la zona central de la senda de la luz entre cada par de fibras emisoras-detectoras adyacentes. Como en el estudio publicado con la EIC y lactantes (Peña y cols., 2003), colocamos los conjuntos de sondas utilizando el sistema de referencia del cráneo que se emplea de modo estándar en la investigación del registro cerebral del Potencial Relacionado con el Evento (PRE), denominado sistema 10-20 (véanse las Fotografías 13A-B): se determinó el vértice como el sitio donde el punto medio de una recta que va desde el nacimiento hasta el nacimiento corta el punto medio de otra recta que va desde el lóbulo preauricular izquierdo al derecho. La segunda posición, las *sondas occipitales*, se encuentra donde se colocó un conjunto de sondas sobre el lóbulo occipital, con quince fibras de 1 mm de diámetro (tres hileras con cinco sondas cada una, véase la Fotografía 13B). Las sondas se ubicaron de modo de maximizar la probabilidad de monitorear las áreas visuales. De las quince fibras del conjunto de sondas, ocho eran emisoras y siete eran detectoras (véase la Figura 13.1). Las fibras se colocaron a una distancia de 2 cm entre sí, con lo cual se obtuvieron 22 canales. Como en el sistema 10-20, las son-

das se ubicaron de modo que la hilera inferior estuviera alineada con el ini3n.

(b)



Fotograf3a 13B Colocaci3n occipital t3pica (adulto).

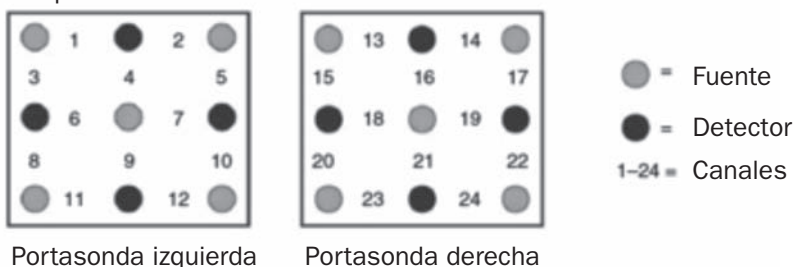
Seis lactantes ingleses, sanos, monoling3es, nacidos a t3rmino (de edad promedio de 3 meses y 29 d3as), realizaron tres tareas que incluyeron la exposici3n a (i) unidades fon3ticas no nativas (por ejemplo, unidades fon3ticas reales, pero aquellas que no estaban presentes en la lengua nativa del ni3o), (ii) «habla dirigida al lactante» en ingl3s (por ejemplo, el habla exagerada en tono cantar3n en oraciones simples, pero gram3ticamente correctas, que los adultos emplean con los beb3s y los ni3os [por ejemplo, Fernald y cols., 1989]) y (iii) tableros de ajedrez visuales (por ejemplo, una imagen de un tablero con luz intermitente; para un informe completo, v3anse Petitto, Baker, Baird, Kovelman y Norton, 2004; Petitto, Baker, Kovelman y Shalinsky, en preparaci3n).

Hallamos activaci3n dentro de las 3reas cl3sicas del lenguaje (3rea de Broca y circunvoluci3n temporal superior [CTS]) para las tareas (i-ii), que emplearon est3mulos ling33sticos, pero no para (iii), que fue un est3mulo visual (no ling33stico). Tomados en conjunto, los tres grupos de datos (v3anse las Figuras 13.2-13.4) implican que el cerebro de los lactantes hace una distinci3n entre las 3reas de procesamiento ling33stico frente a las visuales generales,

dependiendo de la naturaleza específica de los estímulos de los que se dispone.

Este patrón de activación en los lactantes resulta fascinante, porque los lactantes eran muy pequeños y porque se observaron las mismas áreas neuronales para el procesamiento del lenguaje que las observadas en los estudios clásicos con adultos. Además, la activación en los lactantes fue significativamente mayor en su CTS izquierda y en el área de Broca izquierda en comparación con la activación del hemisferio derecho en estas áreas. Por lo tanto, el patrón de resultados de los lactantes, aunque preliminares, sugieren que el procesamiento de la información lingüística en lactantes muy jóvenes utiliza, de hecho, el tejido clásico del lenguaje, tal como se sabe que se utiliza en adultos. También sugiere que nuestras áreas de procesamiento del lenguaje pueden estar «en línea» y funcionando desde una edad temprana, y que estas áreas pueden constituir sitios neuronales dotados para el procesamiento del lenguaje en seres humanos; por supuesto, este último punto es una hipótesis preliminar que ha de probarse aún más en muchos estudios futuros. Para mayor claridad, para los estímulos lingüísticos, hallamos que solo el tejido lingüístico estaba comprometido, y no tejido que correspondiera al procesamiento perceptivo general.

Portasondas temporales



Portasondas occipital y frontal

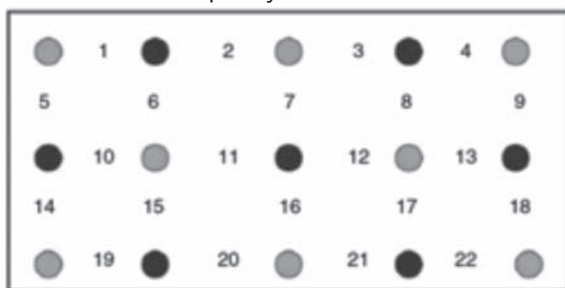


Figura 13.1 Diagrama esquemático de las sondas. Diagrama esquemático de la configuración de los pares fuente y detector de los portasondas que se colocaron en el cuero cabelludo del participante, así como también los correspondientes canales que se usaron en los análisis. Los dos recuadros superiores muestran los portasondas temporales (el portasonda izquierdo se colocó sobre el lóbulo temporal del hemisferio izquierdo del participante; el portasonda derecho se colocó sobre el lóbulo temporal del hemisferio derecho del participante). El recuadro de abajo muestra la configuración de los portasondas occipital/frontal que se colocaron en el lóbulo frontal o en el lóbulo occipital del participante.

Significancia: Durante décadas, tanto los científicos como los educadores se han sentido fascinados por la pregunta de cómo los lactantes descubren los elementos básicos del lenguaje —su inventario fonético— a partir del flujo constante de los sonidos y de las imágenes que los rodean. De hecho, la capacidad del lactante de segmentar el flujo lingüístico (de descubrir su conjunto nativo de

pequeñas unidades fonéticas sin sentido y categorizarlas) es esencial para su capacidad de descubrir la «palabra» (y sus límites), aprender los significados de las palabras y descubrir los patrones en los que las secuencias de palabras se ordenan en frases, cláusulas y oraciones. En esencia, la capacidad del joven lactante de descubrir y de categorizar unidades fonéticas es un componente central del proceso de adquisición del lenguaje humano, y el proceso fonológico reside en el centro de la capacidad de un niño de aprender palabras, el lenguaje y, en última instancia, de ser un lector exitoso. No es sorprendente, por lo tanto, que haya habido muchos años de búsqueda incesante respecto de cómo lo hacen los niños: ¿cuál es la base de la extraordinaria capacidad de los lactantes para descubrir y categorizar unidades fonéticas?

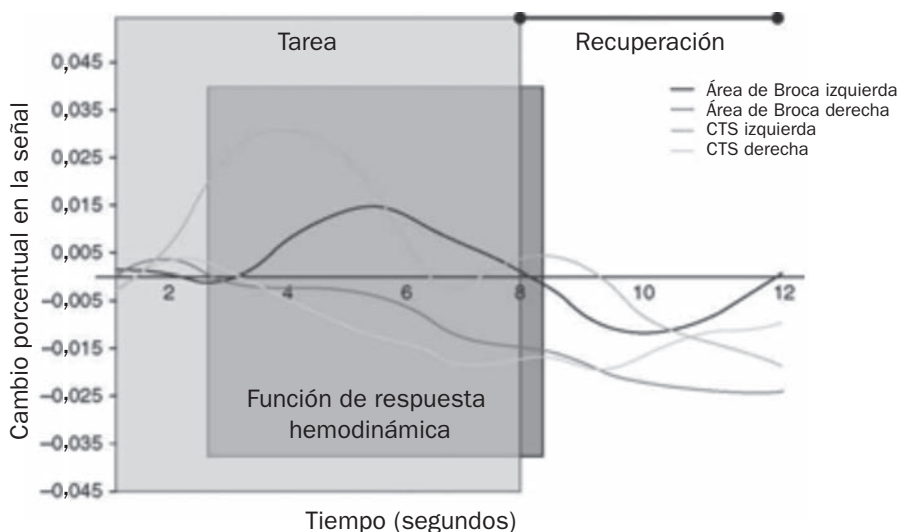


Figura 13.2 Unidades fonéticas no nativas. La figura muestra que, cuando se presentaron los estímulos lingüísticos/fonéticos a los lactantes, se activaron el área de Broca y la circunvolución temporal superior (CTS) lingüísticas clásicas del cerebro del hemisferio izquierdo. Adviértase que la activación no se observó en el tejido correspondiente del hemisferio derecho respecto de aquellas áreas correspondientes a Broca y la CTS: esto puede verse observando que ambas líneas caen por debajo de la línea horizontal. (Se hallaron aumentos en la señal en relación con el valor basal tanto en el área de Broca izquierda como en la CTS izquierda, $r = 0,25$, $r = 0,38$, respectivamente).

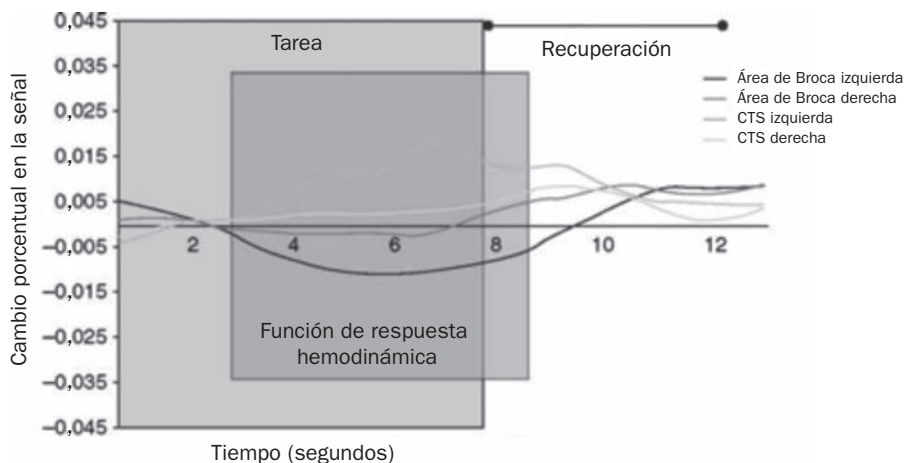


Figura 13.3 Habla dirigida a los lactantes: La figura muestra que, cuando se les presentaba habla dirigida a los lactantes (oraciones con tono cantarín), el área de la circunvolución temporal superior (CTS) lingüística clásica de su cerebro en el hemisferio izquierdo se activaba enérgicamente, y esta activación del hemisferio izquierdo era más enérgica que la activación de la CTS del hemisferio derecho. Según lo predicho para este tipo de tarea lingüística, ni el área de Broca del hemisferio izquierdo ni el área correspondiente del hemisferio derecho mostraron una fuerte activación; esto puede verse observando que ambas líneas caen por debajo de la línea horizontal. Resulta interesante que el hecho de que la activación de la CTS haya sido mayor en el hemisferio izquierdo en comparación con el hemisferio derecho sugiere que los lactantes estaban procesando esta información lingüística como estímulo perceptivo lingüístico y no como estímulo general (auditivo). Si los lactantes estuvieran usando el procesamiento perceptivo general, hubiéramos visto una activación de la CTS bilateral mayor y más comparable, pero no fue así. (Se encontró un aumento en la señal respecto de la basal en la CTS izquierda, $r = 0,16$).

Aunque los estudios conductuales de mi propio laboratorio y de otros han proporcionado un importante respaldo a la hipótesis de que los mecanismos lingüísticos especializados deben estar en funcionamiento en la adquisición de la fonología y el lenguaje de los lactantes (Holowka, Brosseau-Lapré y Petitto, 2002; Petitto, 2000, 2005; Petitto y Holowka, 2002; Petitto y Marentette, 1991; Petitto, Holowka, Sergio, Levy y Ostry, 2004; Petitto, Holowka, Sergio y

Ostry, 2001; Petitto, Katerelos, Levy, Gauna, Tétrault y Ferraro, 2001), faltó en gran medida evidencia clave sobre el cerebro de los lactantes.

El presente hallazgo brinda una nueva visión para una vieja cuestión. Como nos enseñó la historia, la cuestión de si los lactantes están procesando los estímulos (fonéticos) lingüísticos mediante medios lingüísticos frente a medios perceptivos generales fue imposible de resolver con el uso exclusivo de métodos conductuales.

Desde afuera, el desempeño conductual del lactante no nos permitió adjudicar qué tipos de procesamiento mentales se estaban empleando cuando los lactantes se involucraban en una tarea. Este es el primer experimento en demostrar que podemos obtener una activación neuroanatómica focal dentro del hemisferio para tareas altamente específicas en lactantes despiertos con buen comportamiento, de tan solo 3 meses. Para mayor seguridad, se realizarán muchos otros estudios para determinar la generalizabilidad del hallazgo. No obstante, esta evidencia preliminar sugiere que el cerebro de los lactantes puede estar usando mecanismos lingüísticos específicos al procesar la información fonética más que mecanismos perceptivos generales. Estos resultados sugieren una solución a un debate sobre el lenguaje de los niños que ya lleva cuarenta años.

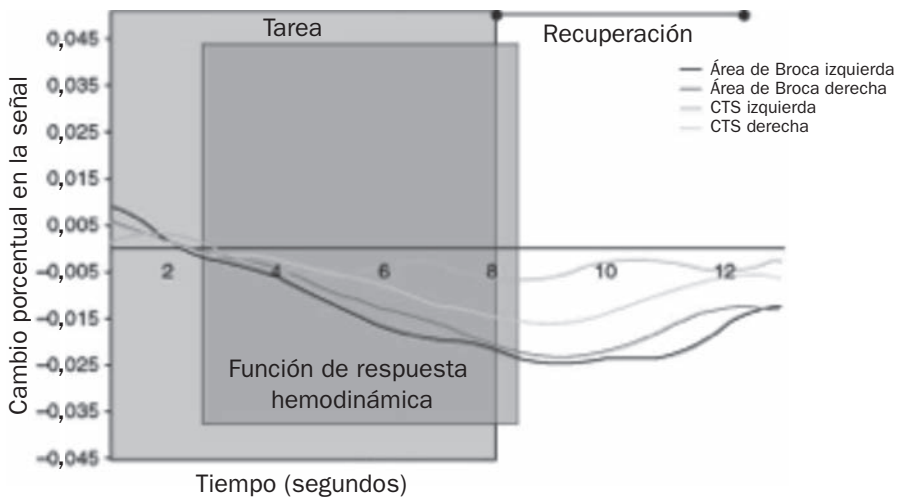


Figura 13.4 Tarea visual con tablero de ajedrez: Esta figura muestra que, cuando los lactantes estaban procesando la imagen del tablero de ajedrez

con destellos, no se observó una activación significativa en las áreas de procesamiento lingüísticas clásicas en ningún hemisferio. Esto puede verse al observar que las cuatro líneas (Broca izquierda, Broca derecha, CTS izquierda, CTS derecha) caen por debajo de la línea horizontal. Específicamente, no hubo cambios significativos en la activación observados en el área de Broca lingüística izquierda (o en el área de Broca derecha correspondiente) durante la tarea de percepción visual. Además, no hubo cambios significativos en la activación observada en la CTS lingüística izquierda (o CTS derecha correspondiente, lo que se predeciría si se procesaran los estímulos como información perceptiva auditiva general) durante esta tarea. Mayormente, no hubo diferencias significativas entre las regiones del hemisferio izquierdo y del derecho. Hay que recordar que las sondas estaban sobre los lóbulos temporales izquierdo y derecho y, por lo tanto, estos hallazgos se predijeron (debido a nuestro conocimiento *a priori* de que los estímulos eran de naturaleza perceptiva) y son, en consecuencia, resultados alentadores respecto de la eficacia de usar la EIC con lactantes. Ello sugiere que los lactantes no estaban procesando los estímulos perceptivos visuales con áreas lingüísticas clásicas del cerebro. De modo crucial, los resultados proporcionan una interesante confirmación de que el tejido cerebral idéntico responde de manera diferente a estímulos diferentes.

Neurociencia educativa: Del laboratorio a la educación

Realizamos un estudio que utiliza tecnología EIC innovadora que, por primera vez, nos permitió evaluar hipótesis neuroanatómicas altamente específicas acerca del tejido cerebral que participa en el procesamiento del lenguaje de los lactantes de una manera hasta ahora imposible en los estudios conductuales. Al hacerlo, esta investigación ayuda a determinar un debate científico clásico acerca de si mecanismos específicos del lenguaje frente a mecanismos generales de percepción inician y gobiernan el aprendizaje temprano del lenguaje. Investigación de este tipo puede proporcionar importantes respuestas a las preguntas científicas sobre (a) los *múltiples factores* que subyacen tras la temprana adquisición del lenguaje y el tipo específico de tejido de procesamiento que subyace tras ellos, (b) las *trayectorias de desarrollo* del tejido de procesamiento lingüístico y (c) la *sensibilidad aumentada* que tiene el tejido de procesamiento del lenguaje ante ciertos tipos de estímulos lingüísticos respecto de otros estímulos en el desarrollo temprano.

Más allá de claros adelantos en nuestra comprensión científica de los procesos del cerebro en la primera etapa de la vida, dichos

estudios también tienen importantes aplicaciones en la educación. Luego de realizar más estudios experimentales de replicación y de estandarización con la EIC y bebés, planeamos establecer y ofrecer los lineamientos de campo para el uso fundamentado de la EIC en niños, que podría tener una importante utilidad diagnóstica, de remediación y de enseñanza de la siguiente manera: nuestros primeros estudios habían establecido que la circunvolución temporal superior (CTS), en particular el plano temporal (PT), está dedicada al procesamiento de patrones específicos rítmicamente alternantes en el centro de la fonología (por ejemplo, Penhune, Cismaru, Dorsaint-Pierre, Petitto y Zatorre, 2003; Petitto y cols., 1998, 2000). También tenemos evidencia de que esto es verdad en lactantes de hasta solo 4 o 5 meses (Holowka y Petitto, 2002; Norton, Baker y Petitto, 2003). Nuestros estudios actuales evaluarán si esto es verdad en lactantes mucho más jóvenes (a partir de los 2 días de edad). La determinación científica del tejido neuronal que subyace tras la segmentación, la categorización y el procesamiento fonéticos tempranos —así como su edad típica de inicio en el desarrollo— puede utilizarse, en última instancia (en combinación con datos de la EIC estandarizados de niños de desarrollo normal), como un componente en la caja de herramientas de medidas diagnósticas para *identificar y predecir* qué bebés están en riesgo de tener trastornos en la secuencia del lenguaje y la fonológica (por ejemplo, dislexia) en la vida muy temprana, incluso *antes* de que balbuceen o de que pronuncien las primeras palabras. Al hacerlo, también proveeremos una nueva manera de distinguir entre *desviación* y *retraso* en el procesamiento fonológico de los niños. *Adviértase que este resultado no hubiera sido posible con estudios conductuales solamente, dado que los problemas del lenguaje y de la lectura de los niños se revelan conductualmente a lo largo de muchos años.*

Estos hallazgos acerca de la capacidad fonológica de los niños proporcionarán, entonces, información científica «basada en la evidencia», vital para la segmentación de palabras en el centro del aprendizaje exitoso de la lengua y la lectura exitosa (Goswami, este libro). Los estudios, entonces, tendrán un impacto en la política educativa de los Estados Unidos al suministrar una herramienta para la identificación temprana de un componente clave subyacente bajo la lectura (procesamiento fonológico) que permitirá instalar programas de remediación del lenguaje más apropiados y métodos para la enseñanza en clase. Por ejemplo, la investigación de

la neurociencia cognitiva de nuestro laboratorio y de otros ya ha proporcionado conocimientos a la política y la práctica educativas respecto de cuándo introducir idiomas extranjeros en el plan de estudio, si los métodos fonéticos de instrucción para la lectura frente a los de la palabra entera son los mejores, cómo el enseñar la conciencia fonológica puede mejorar tanto a los lectores buenos como a los atípicos (por ejemplo, los disléxicos) y la secuencia del desarrollo que subyace tras el aprendizaje del lenguaje (Goswami y Wolf, este libro). Toda esta investigación ya ha comenzado a tener un impacto en los planes de estudio educativos de los Estados Unidos. Con seguridad, el siglo próximo de investigación de la neurociencia educativa tiene el potencial de continuar haciendo dicho progreso en la práctica y la política educativas en forma global.

Agradecimientos

Fue para mí un verdadero honor y privilegio que me hayan invitado a hablar ante el 400.º Aniversario de la Fundación de la Pontificia Academia de las Ciencias en la ciudad del Vaticano, Italia (7-11 de noviembre de 2003), y haber tenido el gran honor de conocer personalmente al Papa Juan Pablo II. Siempre les estaré agradecido a los Profesores Kurt Fischer y Antonio Battro por haberme dado la extraordinaria posibilidad de hacerlo. Agradezco a los padres de los bebés que participaron en este estudio (¡y también a los bebés!). Agradezco a Elizabeth Norton y a Rachael Degenshein por su brillante ayuda en aspectos relacionados con la preparación del manuscrito, y también agradezco a Elizabeth Norton y a las otras colaboradoras de este estudio, Abigail Baird, Stephanie Baker e Ioulia Kovelman por ser las primeras en utilizar esta nueva y desafiante tecnología de la EIC. Por último, agradezco a aquellos que financiaron esta investigación: La Spencer Foundation y el Dartmouth College, la Dana Foundation for the Arts, y estoy especialmente agradecida por el generoso apoyo de los Institutos Nacionales de Salud (Becas N.^{os} R01-HD045822-03, R21-HD050558-02). Para reimpresiones y más información, véase la página web de investigación de Petitto: www.uts.utoronto.ca/~petitto/.

Dirija su correspondencia a Laura-Ann.Petitto@uts.utoronto.ca.

Referencias

- Aslin, R. N. (1987). «Visual and auditory development in infancy», en J. D. Osofsky (comp.), *Handbook of Infant Development* (2.^a ed., págs. 5-97), Oxford, Gran Bretaña, John Wiley.
- Baird, A. A., Kagan, J., Gaudette, T., Walz, K., Hershlag, N. y Boas, D. (2002). «Frontal lobe activation during object permanence: Data from near infrared spectroscopy», *NeuroImage*, 16, 1120-1126.
- Baker, S. A., Golinkoff, R. y Petitto, L. A. (2006). «New insights into old puzzles from infants' categorical discrimination of soundless phonetic units», *Language Learning and Development*, 2, 147-162.
- Baker, S. A., Groh, J. M., Cohen, Y. E. y Petitto, L. A. (presentado). «The perception of soundless phonetic units in rhesus macaques», manuscrito presentado para su publicación.
- Baker, S. A., Idsardi, W. J., Golinkoff, R. y Petitto, L. A. (2005). «The perception of handshapes in American Sign Language», *Memory & Cognition*, 33 (5), 887-904.
- Baker, S., Sootsman, J., Golinkoff, R. y Petitto, L. A. (abril de 2003). «Hearing four-month-olds' perception of handshapes in American Sign Language: No experience required», *Proceedings of the Society for Research in Child Development 2003*, reunión bienal, Tampa, Florida.
- Byrnes, J. P. y Fox, N. A. (1998). «The educational relevance of research in cognitive neuroscience», *Educational Psychology Review*, 10(3), 297-342.
- Eimas, P. D. (1975). «Auditory and phonetic coding of the cues for speech: Discrimination of the (r-l) distinction by young infants», *Perception & Psychophysics*, 18(5), 341-347.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P. y Vigorito, J. (1971). «Speech perception in infants», *Science*, 171, 303-306.
- Fernald, A., Taeschner, T., Dunn, J., Papousek, M., Boysson-Bardies, B. y Fukui, I. (1989). «A cross-language study of prosodic modifications in mothers' and fathers' speech to preverbal infants», *Journal of Child Language*, 16, 477-501.
- Geake, J. G. (2003). «Adapting middle level educational practices to current research on brain functioning», *Journal of the New England League of Middle Schools*, 15, 6-12.
- (2004). «Cognitive neuroscience and education: two-way traffic or

- one-way street?», *Westminster Studies in Education*, 27(1), 87- 98.
- Geake, J. G. y Cooper, P. W. (2003). «Implications of cognitive neuroscience for education», *Westminster Studies in Education*, 26(10), 7-20.
- Goswami, U. (2004). «Neuroscience and education», *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 1-14.
- Hauser, M. D., Newport, E. L. y Aslin, R. N. (2001). «Segmentation of the speech stream in a nonhuman primate: Statistical learning in cotton top tamarins», *Cognition*, 78, B53-B64.
- Holowka, S., Brosseau-Lapr  , F. y Petitto, L. A. (2002). «Semantic and conceptual knowledge underlying bilingual babies' first signs and words», *Language Learning*, 52(2), 205-262.
- Holowka, S. y Petitto, L. A. (2002). «Left hemisphere cerebral specialization for babies while babbling», *Science*, 297, 1515.
- Jusczyk, P. W. (1985). «On characterizing the development of speech perception», en J. Mehler y R. Fox (comps.), *Neonate Cognition: Beyond the Blooming, Buzzing Confusion* (p  gs. 199-229), Hillsdale, Nueva Jersey, Erlbaum.
- (1997). *The Discovery of Spoken Language*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- Jusczyk, P. W., Rosner, B. S., Cutting, J. E., Foard, C. F. y Smith, L. B. (1977). «Categorical perception of non-speech sounds by 2-month-old infants», *Perceptual Psychophysics*, 21, 50-54.
- Kluender, K. R., Diehl, R. L. y Killeen, P. R. (1987). «Japanese-quail can learn phonetic categories», *Science*, 237, 1195-1197.
- Kuhl, P. K. (1979). «Speech perception in early infancy: Perceptual constancy for spectrally dissimilar vowel categories», *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 1669-1679.
- (1981). «Discrimination of speech by nonhuman animals: Basic auditory sensitivities conducive to the perception of speech-sound categories», *Journal of the Acoustical Society of America*, 70, 340-349.
- Kuhl, P. K. y Miller, J. D. (1975). «Speech perception by the chinchilla: Voiced-voiceless distinction in alveolar plosive consonants», *Science*, 190, 69-72.
- (1978). «Speech-perception by chinchilla: Identification functions for synthetic VOT stimuli», *Journal of the Acoustical Society of America*, 63, 905-917.
- Kuhl, P. K. y Padden, D. M. (1982). «Enhanced discriminability at

- the phonetic boundaries for the voicing feature in macaques», *Perceptual Psychophysics*, 32, 542-550.
- Kuhl, P. K. y Padden, D. M. (1983). «Enhanced discriminability at the phonetic boundaries for the place feature in macaques», *Journal of the Acoustical Society of America*, 73, 1003-1010.
- Morse, P. A. y Snowden, C. T. (1975). «An investigation of categorical speech discrimination by rhesus monkeys», *Perception & Psychophysics*, 17(1), 9-16.
- Norton, E. S., Baker, S. y Petitto, L. A. (junio de 2003). «Bilingual infants' categorical perception of phonetic handshapes in American Sign Language», póster presentado en el Taller de Verano del Institute for Research in Cognitive Science de la University of Pennsylvania, Filadelfia.
- O'Boyle, M. W. y Gill, H. S. (1998). «On the relevance of research findings in cognitive neuroscience to educational practice», *Educational Psychology Review*, 10, 397-400.
- Penhune, V., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A. y Zatorre, R. (2003). «The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI», *NeuroImage*, 20, 1215-1225.
- Peña, M., Maki, A., Kovacic, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F. y Mehler, J. (2003). «Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(20), 11702-11705.
- Petitto, L. A. (2000). «On the biological foundations of human language», en H. Lane y K. Emmorey (comps.), *The Signs of Language Revisited* (págs. 447-471), Mahwah, Nueva Jersey, Erlbaum.
- (2005). «How the brain begets language: On the neural tissue underlying human language acquisition», capítulo en J. McGilvray (comp.), *The Cambridge Companion to Chomsky*, (págs. 84-101), Cambridge, Cambridge University Press.
- Petitto, L. A., Baker, S., Baird, A., Kovelman, I. y Norton, E. (febrero de 2004). «Near-infrared spectroscopy studies of children and adults during language processing», presentación en el Taller Internacional sobre Espectroscopia de Infrarrojo Cercano, Cambridge, Massachusetts.
- Petitto, L. A., Baker, S., Kovelman, I. y Shalinsky, M. (en preparación). «Near-infrared spectroscopy studies of children and adults during language processing», manuscrito en preparación.

- Petitto, L. A. y Dunbar, K. (2004). «New findings from Educational Neuroscience on bilingual brains, scientific brains, and the educated mind», en K. Fischer y T. Katzir (comps.), *Building Usable Knowledge in Mind, Brain, and Education*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Petitto, L. A. y Holowka, S. (2002). «Evaluating attributions of delay and confusion in young bilinguals», *Sign Language Studies*, 3(1), 4-33.
- Petitto, L. A., Holowka, S., Sergio, L. y Ostry, D. (2001). «Language rhythms in babies' hand movements», *Nature*, 413, 35-36.
- Petitto, L. A., Holowka, S., Sergio, L., Levy, B. y Ostry, D. (2004). «Baby hands that move to the rhythm of language: Hearing babies acquiring sign languages babble silently on the hands», *Cognition*, 9, 43-73.
- Petitto, L. A., Katerelos, M., Levy, B., Gauna, K., Tétrault, K. y Ferraro, V. (2001). «Bilingual signed and spoken language acquisition from birth: Implications for mechanisms underlying bilingual language acquisition», *Journal of Child Language*, 28(2), 1-44.
- Petitto, L. A. y Marentette, P. (1991). «Babbling in the manual mode: Evidence for the ontogeny of language», *Science*, 251, 1493-1496.
- Petitto, L. A., Zatorre, R., Gauna, K., Nikelski, E. J., Dostie, D. y Evans, A. (2000). «Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people while processing signed languages: Implications for the neural basis of human language», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), 13961-13966.
- Petitto, L. A., Zatorre, R., Nikelski, E. J., Gauna, K., Dostie, D. y Evans, A. C. (1998). «By hand or by tongue: Common cerebral blood flow activation during language processing in signed and spoken languages», *NeuroImage*, 7(4), 193.
- Polka, L. y Werker, J. F. (1994). «Developmental changes in perception of nonnative vowel contrasts», *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 421-435.
- Ramus, F., Hauser, M. D., Miller, C., Morris, D. y Mehler, J. (2000). «Language discrimination by human newborns and cotton-top tamarin monkeys», *Science*, 288, 349-351.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N. y Newport, E. L. (1996). «Statistical learning by 8-month-old infants», *Science*, 274, 1926-1928.
- Sakatani, K., Chen, S., Lichty, W., Zuo, H. y Wang, Y. P. (1999). «Cerebral blood oxygenation changes induced by auditory sti-

- mulation in newborn infants measured by near infrared spectroscopy», *Early Human Development*, 55(3), 229-236.
- Shaywitz, S., Shaywitz, B., Pugh, K., Fulbright, R., Constable, R., Mencl, W., Shankweiler, D. y cols. (1998). «Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 2636-2641.
- Stager, C. L. y Werker, J. F. (1997). «Infants listen for more phonetic detail in speech perception than in word learning tasks», *Nature*, 388, 381-382.
- Villringer, A. y Chance, B. (1997). «Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function», *Trends in Neuroscience*, 20(10), 435-442.
- Waters, R. S. y Wilson, J. R. (1976). «Speech perception by rhesus monkeys: The voicing distinction in synthesized labial and velar stop consonants», *Perception & Psychophysics*, 19(4), 285-289.
- Werker, J. F., Cohen, L. B., Lloyd, V. L., Casasola, M. y Stager, C. L. (1998). «Acquisition of word-object associations by 14-month-old infants», *Developmental Psychology*, 34, 1289-1309.
- Werker, J. F. y Lalonde, C. E. (1988). «Cross-language speech perception: Initial capabilities and developmental change», *Developmental Psychology*, 24(4), 672-683.
- Werker, J. F. y Stager, C. L. (2000). «Developmental changes in infant speech perception and early word learning: Is there a link?», en J. Pierrehumbert y M. Broe (comps.), *Papers in Laboratory Phonology*, 5 (págs. 181-193), Cambridge, Cambridge University Press.
- Werker, J. F. y Tees, R. C. (1983). «Developmental changes across childhood in the perception of non-native speech sounds», *Canadian Journal of Psychology*, 37(2), 278-286.
- (1999). «Experiential influences on infant speech processing: Toward a new synthesis», en J. T. Spence (comp.), *Annual Review of Psychology*, Vol. 50 (págs. 509-535), Palo Alto, California, Annual Reviews.
- Zaramella, P., Freato, F., Amigoni, A., Salvadori, S., Marangoni, P., Suppiej, A. y cols. (2001). «Brain auditory activation measured by near-infrared spectroscopy (NIRS) in neonates», *Pediatric Research*, 49(2), 213-219.

Limitaciones cerebrales en la lectura y la aritmética: La educación como proceso de «reciclaje neuronal»

Stanislas Dehaene

Introducción

La neurociencia cognitiva señala el camino más allá de las disputas que oponen las causas biológicas del comportamiento contra las culturales y las experienciales. Dehaene alega de modo convincente que las herramientas culturales de la lectura y la aritmética se construyen directamente sobre procesos cerebrales fundamentales presentes en los lactantes y en otros mamíferos. Las ideas comunes de los debates acerca del aprendizaje y la educación parecen anticuadas y fuera de moda desde este punto de vista, ideas tales como que la mente / el cerebro es una hoja en blanco al nacer, que hay órganos mentales innatos y fijos, y que el cerebro es una máquina de aprendizaje capaz de aprender prácticamente cualquier cosa. La evidencia es en particular clara respecto de los números elementales en aritmética y las formas de las letras del alfabeto. Pequeñas áreas corticales específicas del lóbulo parietal de los primates y de los lactantes humanos son componentes esenciales para detectar la numerosidad en forma automática, aunque no haya habido experiencia alguna con los símbolos arábigos para los números. En efecto, incluso existen neuronas específicas que se ajustan a cantidades diferentes del 1 al 5. Las lesiones en estas áreas producen acalculia (déficit en la habilidad de cálculo). Para la lectura, algunas áreas visuales limitadas están dedicadas al reconocimiento de objetos y a detalles diminutos de formas en el espacio, de tamaño, posición o simetría invariables. Estas redes parecen constituir la base para

construir formas de letras y disponer, así, el potencial para que los niños aprendan el alfabeto. Las lesiones en estas áreas producen alexia o dislexia. Tanto para la matemática como para la alfabetización, los objetos culturales (números y letras) utilizan las arquitecturas cerebrales preexistentes. De este modo, la educación puede comprenderse como un «proceso de reciclaje neuronal» que se basa en las estructuras corticales.

Los compiladores

¿Por qué la investigación del cerebro debería ser pertinente a la educación? Muchos padres y educadores consideran que no lo es. Por supuesto, nadie niega que el cerebro es, en el análisis final, el órgano biológico que apoya los procesos de aprendizaje y de memoria del niño. Sin embargo, este hecho biológico parece muy remoto de los eventos cotidianos que ocurren en las escuelas. En general, no se considera que la biología limite demasiado la educación, si es que lo hace.

Respecto de este juicio, con frecuencia he observado que los educadores se aferran a un modelo implícito del cerebro como una *tabula rasa* u «hoja en blanco» (Pinker, 2002), lista para ser completada a través de la educación y la práctica en el aula. Desde esta perspectiva, la capacidad del cerebro humano para ser educado, única en el reino animal, depende de una amplia plasticidad cortical inherente solo en los humanos. El cerebro humano sería especial en su capacidad para incorporar una serie casi infinita de nuevas funciones a través del aprendizaje. Al respecto, entonces, el conocimiento del cerebro no sirve de ayuda para diseñar las políticas educativas.

Si bien debo admitir que aquí se presenta esta perspectiva de un modo algo caricaturesco, no está tan lejos de los enunciados modernos conexionistas o neoconstructivistas (por ejemplo, Quartz y Sejnowski, 1997). También es respaldada por un razonamiento lógico, al parecer infalible. Gran parte del contenido actual de las aulas, según el razonamiento, consiste en invenciones culturales recientes, tales como los símbolos que usamos en la escritura o en la matemática. Esas herramientas culturales son demasiado recientes para haber ejercido cualquier presión evolutiva en la evolución del cerebro. La lectura, por ejemplo, se inventó hace apenas cinco mil cuatrocientos años, y la aritmética simbólica es aún más reciente: la notación

arábiga y la mayoría de sus algoritmos asociados no existían ni siquiera hace mil años (véase Wolf, este libro). Por lo tanto, es lógicamente imposible que existan mecanismos cerebrales específicos que hayan evolucionado para la lectura o para la aritmética simbólica. Deben aprenderse, igual que los miles de otros hechos y habilidades en geografía, historia, gramática, filosofía... El hecho de que nuestros niños puedan aprender esos materiales implica que el cerebro no es otra cosa que una poderosa máquina de aprender universal.

Mientras que esta teoría basada en el aprendizaje podría explicar la vasta variedad de capacidades culturales humanas, también implica que la implementación cerebral de esas capacidades debería ser altamente variable a través de los individuos. Según la historia del aprendizaje de un individuo, la misma región cerebral podría involucrarse en diversas funciones. Durante el aprendizaje, la ruptura aleatoria de la simetría podría, en última instancia, conducir a la asignación de territorios dedicados a diferentes competencias, pero esta asignación debería determinarse en forma aleatoria para diferentes individuos. En consecuencia, uno no esperaría encontrar sustratos cerebrales reproducibles para las actividades culturales recientes, tales como la lectura y la aritmética.

Sin embargo, en esta predicción es precisamente donde reside la paradoja. Como mostraré en este capítulo, una abundancia de hallazgos neuropsicológicos y de neuroimágenes arroja luz sobre la capacidad del cerebro humano de adquirir objetos culturales novedosos, tales como la lectura y la aritmética. Esos datos van en contra de la hipótesis de una *tabula rasa* imparcial. La evidencia convergente psicológica, neuropsicológica y de imágenes cerebrales demuestra que el cerebro humano adulto alberga mecanismos específicos para la lectura y la aritmética. Las regiones corticales pequeñas, que ocupan ubicaciones reproducibles en diferentes individuos, son reclutadas por estas tareas. Cumplen su función en forma automática y, muchas veces, sin tener conciencia de ello. Además, la lesión de esas regiones puede llevar a trastornos específicos para leer y para hacer cálculos. En una palabra, la evidencia parece respaldar la existencia de bases cerebrales definidas, reproducibles y más bien específicas para la lectura y la aritmética (véanse Wolf, Petitto y Goswami, este libro).

Un examen detenido de la función de esas áreas del cerebro en evolución sugiere una posible resolución de esta paradoja. No se trata de que esas áreas adquieran una nueva función totalmente

definida y culturalmente arbitraria. Más bien, al parecer poseen, en otros primates, una función previa muy relacionada con la que tendrán, con el tiempo, en los seres humanos. Además, muchas de las características funcionales que las vuelven altamente eficientes al procesar las herramientas culturales humanas ya están presentes. Es posible que sean suficientes cambios bastante pequeños para adaptarlas a su nuevo campo cultural. Por lo tanto, en conclusión, todo me lleva a proponer, en forma tentativa, una hipótesis de «reciclaje neuronal», según la cual la capacidad humana para el aprendizaje cultural se apoya en un proceso de reemplazo o de reciclaje del circuito cerebral existente. En mi opinión, esta visión implica que, para la educación, es esencial comprender la organización del cerebro del niño.

1. Bases cerebrales de la aritmética

Muchos estudios con neuroimágenes en todo el mundo han examinado la actividad cerebral mientras los adultos realizan ejercicios matemáticos simples. La tecnología de las imágenes de resonancia magnética nuclear funcional (RMNf), en la actualidad, nos permite capturar una serie de imágenes de todo el cerebro de la oxigenación de la sangre, estrechamente relacionada con la actividad neuronal, con una resolución temporal de algunos segundos. Esta metodología es suficiente para examinar qué áreas cerebrales se activan cuando los sujetos realizan una simple resta (por ejemplo, $7 - 2$), en comparación con una situación de control en la que los sujetos simplemente nombran las cifras sin calcular (por ejemplo). Un resultado notable de estos estudios ha sido el descubrimiento de un sustrato altamente reproducible para la aritmética mental (tal como se evaluó en Dehaene, Piazza, Pinel y Cohen, 2003). Durante la aritmética, se activa sistemáticamente un conjunto reproducible de áreas, entre las cuales los surcos intraparietales izquierdo y derecho y los surcos precentrales izquierdo y derecho figuran en forma prominente (Figura 14.1). Ahora solo hacen falta algunos minutos de prueba para aislar esta red en cada individuo examinado, con una variabilidad de solo alrededor de un centímetro en coordenadas cerebrales estandarizadas.

La red parietoprecentral para la aritmética se ha observado en muchos laboratorios diferentes, con adultos de muchos países

diversos, y con lenguas y sistemas educativos sorprendentemente distintos (por ejemplo, China, Japón, Francia y Estados Unidos). El componente parietal de esta red al parecer es, esencialmente, común a todas las tareas aritméticas. Su activación es más fuerte durante el cálculo (por ejemplo, resta, suma, multiplicación) o la aproximación al cálculo (por ejemplo, ¿21 + 15 está más cerca de 40 o de 90?) (Dehaene, Spelke, Pinel, Stanescu y Tsivkin, 1999). Sin embargo, la actividad parietal relacionada con los números también puede evocarse de un modo por completo automático cuando los sujetos simplemente tienen que detectar un número en un flujo visual o auditivo (Eger, Sterzer, Russ, Giraud y Kleinschmidt, 2003). En efecto, la mera presentación subliminal de un número arábigo durante un breve instante es suficiente para evocarlo (Naccache y Dehaene, 2001). Esos resultados presentan una profunda paradoja: ¿por qué la misma área del cerebro es sistemáticamente asignada a procesar números arábigos, de un modo altamente automático, mientras que las letras, que son una construcción cultural igualmente arbitraria, no producen la activación de esa área?

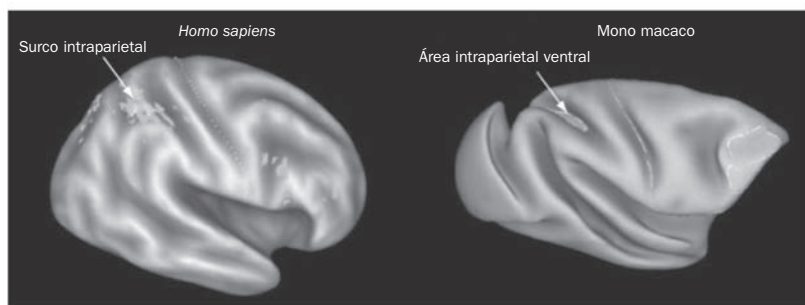


Figura 14.1 Áreas activadas por diversas tareas matemáticas en los seres humanos (izquierda, vuelto a dibujar según lo hecho por Dehaene y cols., 2003) y áreas en las que las neuronas que codifican los números han sido registradas en el mono macaco (derecha, vuelto a dibujar según lo hecho por Nieder y Miller, 2003). Existe una homología verosímil entre las áreas parietales involucradas en el procesamiento de los números en ambas especies.

Se ha propuesto una hipótesis simple, aunque provechosa, que podría comenzar a resolver esta paradoja (Dehaene, 1992,

1997; Gallistel y Gelman, 1992). Postula que, si bien los números arábigos y los numerales verbales son culturalmente arbitrarios y específicos para los seres humanos, el sentido de la cantidad numérica no lo es. Este «sentido numérico» está presente en niños lactantes y en animales. Aprendemos a asignar significado a nuestros símbolos y nuestros cálculos conectándolos con esta representación de cantidad preexistente.

Como respaldo de esta perspectiva, muchos experimentos han mostrado que los animales y los lactantes humanos poseen un sentido de los números rudimentario y no verbal. Las palomas, ratas, delfines, monos y simios pueden percibir la «numerosidad» de un conjunto de objetos visuales o auditivos, incluso hasta cuarenta o cincuenta. De modo similar, los lactantes humanos de seis meses pueden percibir la diferencia, digamos, entre ocho y dieciséis puntos en una pantalla de computadora (Lipton y Spelke, 2003). Naturalmente, esta capacidad no es tan precisa como la nuestra y, por lo tanto, no puede respaldar cálculos digitales complejos. Los animales y los lactantes no pueden discriminar dos números vecinos, tales como 36 y 37, sino que tienen una percepción aproximada de numerosidad que se vuelve cada vez menos precisa a medida que el número crece (ley de Weber).

La misma representación aproximada sigue evidenciándose en los adultos humanos, no solo cuando percibimos conjuntos de objetos, sino incluso cuando procesamos números simbólicos. Un signo claro de nuestra confianza en este «sentido numérico» es el efecto de la distancia en la comparación de los números. Al decidir cuál de dos numerales arábigos es el mayor, somos considerablemente más rápidos cuando los números están distanciados (por ejemplo, 1 y 9, o 31 y 65) que cuando son cercanos (por ejemplo, 8 y 9, o 51 y 65). No se esperaría un desempeño tan variable de un algoritmo de comparación digital, como los que aparecen, por ejemplo, en una computadora moderna. Ello sugiere que, incluso cuando se enfrenta a estímulos simbólicos, nuestro cerebro rápidamente convierte los numerales en un código interno de cantidad aproximada, una «recta numérica» interna en la que se codifican cantidades similares a través de distribuciones similares de activaciones.

En los últimos años, hemos aprendido mucho acerca de cómo este código de cantidad es implementado en las neuronas. Andreas Nieder y Earl Miller (Nieder, Freedman y Miller, 2002; Nieder y Miller, 2003) tomaron registros de neuronas únicas en monos des-

piertos entrenados para llevar a cabo una tarea de números visuales de igualación a la muestra. Muchas neuronas se ajustaron a una numerosidad preferida: algunas neuronas respondieron en forma preferencial a conjuntos de un objeto; otras, a dos objetos, y así sucesivamente hasta llegar a cinco objetos. El ajuste fue básico y se volvió cada vez más impreciso a medida que crecía la numerosidad. Las características de este código neuronal eran exactamente las esperadas de un modelo de red neuronal que había sido propuesto para justificar el efecto de la distancia y otras características del procesamiento numérico en los adultos y los lactantes (Dehaene y Changeux, 1993). Lo más importante es la localización en la que se registraron las neuronas de los números. Inicialmente, se observó una gran proporción en la corteza prefrontal dorsolateral, pero más recientemente, se observó otra población de neuronas con una latencia más breve en el lóbulo parietal (Nieder y Miller, 2005; véase también Sawamura, Shima y Tanji, 2002). Estas neuronas están localizadas en el área ventral intraparietal (VIP), en el fondo del surco intraparietal, una ubicación que es un homólogo verosímil del área humana activa durante muchas tareas con números.

En consecuencia, se podría proponer un simple escenario para la adquisición de la aritmética en los seres humanos. La evolución había dotado el lóbulo parietal del primate con una representación burda de la numerosidad, que es de suponer que fue útil en muchas situaciones en las que un grupo de objetos o de congéneres debía ser rastreado a lo largo del tiempo. Esta representación numérica primitiva también está presente en los seres humanos. Está presente al principio de la infancia humana, aunque su precisión es inicialmente muy mediocre, y se desarrolla en forma continua durante el primer año de vida (Lipton y Spelke, 2003). Proporciona a los niños una base mínima sobre la cual construir la aritmética: la capacidad de rastrear pequeños grupos de objetos y de monitorear los aumentos o las disminuciones de la numerosidad. En el primer año, este conocimiento es completamente no verbal, pero alrededor de los 3 años de vida, se conecta con símbolos, primero con las palabras de contar del lenguaje hablado (y sus dedos sustitutos), luego con los símbolos escritos de la notación arábiga.

Por lo tanto, no es sorprendente que los números arábigos y sus cálculos se vinculen, en última instancia, con un área cerebral restringida ubicada en forma reproducible en todos los individuos. De hecho, esta área no surge mediante el «entrenamiento» en arit-

mética. Más bien, está presente desde el inicio y se modifica progresivamente a medida que se conecta con los sistemas de símbolos en otras áreas cerebrales, lo cual da a los números su significado.

Mientras que este escenario describe el desarrollo normal de los números, también predice la existencia de déficits en aritmética. En los adultos, se sabe que ciertas lesiones cerebrales causan acalculia, un déficit selectivo en aritmética (Dehaene, Dehaene-Lambertz y Cohen, 1998). Las lesiones del surco intraparietal, en particular, pueden causar severos déficits en la suma y la resta, pero también en la comprensión básica de los números, tales como la aproximación, la estimación y la comparación de la numerosidad (Lemer, Dehaene, Spelke y Cohen, 2003). Sobre todo, existe un síndrome similar en los niños llamado discalculia del desarrollo (Shalev, Auerbach, Manor y Gross-Tsur, 2000). Algunos niños, desde su nacimiento, experimentan severas dificultades para aprender aritmética. No obstante, pueden tener un índice de inteligencia normal, provenir de un entorno social normal y es posible que no necesariamente sufran de déficits asociados respecto de la lectura o de la atención. En algunos de ellos, el déficit tal vez incluso afecte tareas muy básicas. Hasta puede estar comprometida la habilidad de decidir si un conjunto abarca dos o tres objetos, o cuál es el número mayor entre 5 y 6 (Butterworth, 1999). Por lo tanto, una hipótesis natural es que puede verse afectada la representación de las cantidades, ya sea por una enfermedad genética o por una lesión cerebral temprana.

Esta hipótesis fue recientemente reivindicada por dos estudios de discalculia de la neurociencia cognitiva. En uno de ellos (Isaacs, Edmonds, Lucas y Gadian, 2001), jóvenes adolescentes que habían nacido prematuros fueron divididos en dos grupos: los que habían sufrido de discalculia durante su infancia y los que no. Se utilizaron las imágenes de resonancia magnética para estimar la densidad de materia gris que había en la corteza. Los jóvenes discalcúlicos tenían una reducción selectiva de la densidad de la materia gris en el surco intraparietal izquierdo, en las coordenadas precisas en las que se observan las activaciones en adultos normales mientras hacen cálculos mentales de aritmética. En el segundo estudio (Molko y cols., 2003), mujeres adultas jóvenes con una enfermedad genética, el síndrome de Turner, fueron comparadas con controles en un examen anatómico y de resonancia magnética funcional. Se observaron anomalías corticales en el surco intraparietal derecho, que también se activó en forma anormal durante el cómputo de sumas con números grandes.

Actualmente, no se sabe por qué la discalculia en ocasiones afecta el lóbulo parietal izquierdo o el derecho, como tampoco qué proporción de niños con discalculia en realidad tienen lesiones cerebrales identificables. Sin embargo, la existencia misma de una categoría de niños con una inteligencia y una escolarización normales y, a pesar de todo, con un déficit desproporcionado en aritmética, invalida la perspectiva de que la educación aritmética se basa en mecanismos de aprendizaje generales de un área. Más bien, una pre-representación reducida y específica de la numerosidad, con un sustrato cerebral específico, actúa como un requisito previo para aprender aritmética. Todos los seres humanos tienen la capacidad de desarrollarse en la matemática, pero solo si comienzan con los elementos adecuados.

2. Bases cerebrales de la lectura

Los números son un parámetro básico de nuestro medio, de modo que tal vez no debería sorprendernos que nuestro cerebro viniera preparado por la evolución para representarlos. Más paradójicamente, se han hecho descubrimientos similares en el campo de la lectura. La lectura se inventó, a lo sumo, hace cinco mil cuatrocientos años, y hasta hace muy poco concernía a una parte muy pequeña de la humanidad. En consecuencia, no ha habido ni tiempo ni presión para que evolucionaran los circuitos cerebrales para la lectura. En efecto, los principios de la lectura son una mezcla de cosas, muy variables de cultura en cultura, que combinan el principio de rebus con la posibilidad de describir elementos de sonidos que van desde palabras enteras hasta sílabas, rimas o fonemas usando diversas formas visuales. Mientras que es probable que el *Homo sapiens* haya desarrollado mecanismos corticales específicos para el procesamiento del habla, que es una característica que define a nuestra especie, del lado visual parece imposible que el cerebro venga preparado para los aspectos arbitrarios del sistema de lectura.

A pesar de estos argumentos al parecer lógicos, los estudios de imágenes cerebrales han identificado un sistema cerebral sorprendentemente reproducible para la etapa visual de la lectura, que se denomina el sistema «visual de formación de palabras». Cada vez que se le presenta a un buen lector una palabra escrita, puede observarse la activación en un área de la región visual ventral

izquierda, localizada en el surco occipitotemporal (para una reseña, véase Cohen y Dehaene, 2004). La variabilidad de esta activación de persona a persona es solo de unos pocos milímetros (Figura 14.2). Además, está presente en la misma ubicación en los lectores de todas las culturas, incluida la escritura hebrea de derecha a izquierda, así como también los sistemas de lectura no alfabéticos chino y japonés (véase Paulesu y cols., 2001).

La región también presenta especificidad para la lectura. Por ejemplo, se distingue de una activación más mesial observada cuando se ven rostros. También responde más a series de letras verdaderas que a seudoletras con una forma similar; o a palabras verdaderas más que a series de consonantes que no podrían jamás formar una palabra pronunciable (Cohen y cols., 2002; véase la Figura 14.2). Los casos aislados para los que hay disponibles registros intracraneales respaldan la existencia de microterritorios de corteza visual que responden preferentemente o, en ocasiones, exclusivamente a las palabras (Allison, Puce, Spencer y McCarthy, 1999).

También hay evidencia de especificidad funcional. Varios de los problemas computacionales planteados por la lectura al parecer son resueltos por mecanismos exquisitamente adaptados que se hallan en la corteza occipitotemporal. Uno de estos problemas es la invariancia de la localización: las palabras deben reconocerse sin importar su ubicación en la retina. El área visual de formación de palabras alcanza la invariancia de la localización al recibir la activación de los hemisferios izquierdo y derecho, en algunas decenas de milisegundos, a través de las fibras intracorticales y callosas correspondientes (Molko y cols., 2002; véase la Figura 14.2). Otro problema lo plantean las variaciones en la fuente y la caja. La misma palabra puede tener una sorprendente diferencia en su forma visual en mayúscula y en minúscula; por ejemplo, *RAGE* y *rage*. El mapeo entre las mayúsculas y las minúsculas es una cuestión de convención cultural y debe aprenderse. Sin embargo, las imágenes cerebrales han revelado que una representación con caja invariable se logra en forma temprana en el proceso de lectura (Dehaene y cols., 2004), a través de un banco de neuronas específicas, detectoras de letras, cada una asignada a una ubicación diferente de la fovea y trabajando en paralelo. El reconocimiento visual de las palabras es tan eficiente que el área visual de formación de palabras puede ser activada de un modo subliminal por palabras presentadas durante solo 29 milisegundos (Dehaene y cols., 2001).

Finalmente, igual que con la aritmética, existe evidencia de que las lesiones cerebrales pueden alterar selectivamente la etapa visual de la lectura. Déjerine (1892) informó el primer caso de «alexia pura», una alteración selectiva de la lectura sin un déficit concurrente en la producción del habla, comprensión del habla o incluso en la escritura. Desde entonces, se han observado muchos casos. La alexia pura se presenta a partir de lesiones occipitotemporales ventrales izquierdas que afectan la región de la corteza visual donde se observan activaciones en sujetos normales durante la lectura (Cohen y cols., 2003). Aparte de la lectura, la visión puede preservarse en gran medida, incluido el reconocimiento de rostros y de objetos. Si bien es posible que los pacientes puedan seguir identificando letras sueltas, una a la vez, han perdido la capacidad de reconocer una palabra completa de inmediato, mediante el procesamiento de las letras en paralelo. Además, muchas veces son incapaces de recobrar la lectura fluida, incluso años después de ocurrida la lesión. El contraste entre el reconocimiento preservado del objeto visual y la lectura alterada indica que se ha perdido un sistema especializado, un «órgano mental» rápido, específico y reproducible para el reconocimiento de la palabra visual, aunque la existencia de dicho sistema parezca imposible desde un punto de vista lógico.

Como sucede con la aptitud numérica, la solución de esta paradoja requiere la consideración de lo que sería la función previa del sistema visual de formación de palabras en primates no humanos. Muchas de las propiedades del sistema de reconocimiento de la palabra invariable ya están presentes en los primates, solo que se usan para reconocer objetos y rostros, no palabras. La vía occipitotemporal de los primates en su totalidad se ocupa del reconocimiento visual. Ha evolucionado como un sistema del «qué» capaz de una identificación invariable de rostros y de objetos, en oposición a un sistema dorsal del «dónde», responsable de la localización de los objetos y de su uso en los actos motores. Se sabe mucho acerca de la organización neuronal de la vía visual ventral en el mono macaco, donde se ha observado una jerarquía de neuronas con propiedades cada vez más abstractas e invariables. Algunas neuronas responden solo a partes de objetos, con un campo receptivo relativamente estrecho: podrían, por ejemplo, ser sensibles a la forma de un ojo en un lugar específico de la retina. Otras responden a una configuración mayor, por ejemplo, el perfil de un rostro o la forma de un matafuego. Finalmente, algunas responden a una persona dada,

ya sea que se presente como un rostro o como un perfil. Estos cómputos se despliegan de un modo natural e inconsciente, y pueden observarse incluso en el mono anestesiado.

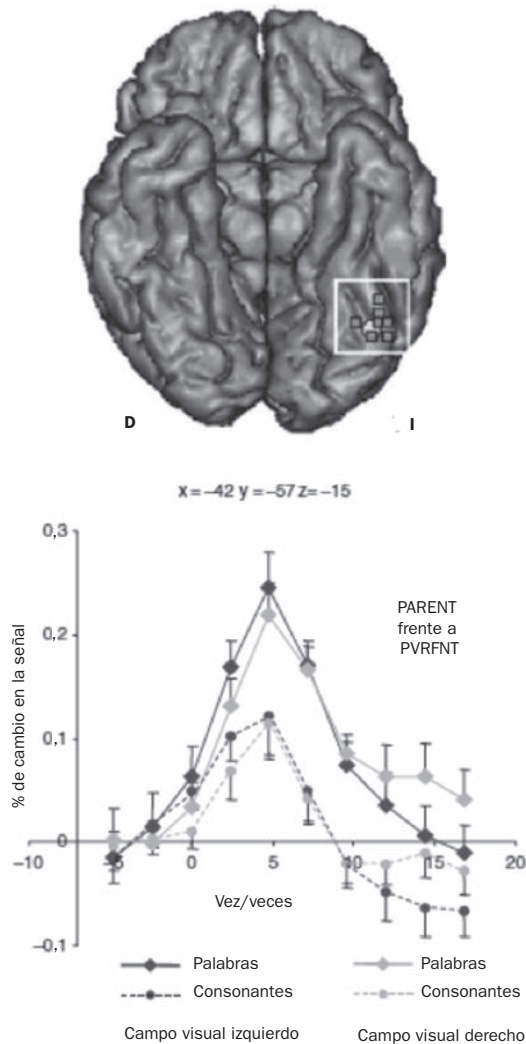


Figura 14.2. Localización y propiedades del «área visual de formación de palabras» en seres humanos (adaptado de Cohen y cols., 2002). La figura superior muestra la localización de la activación de las palabras visuales en el surco occipitotemporal izquierdo (cada punto representa una persona

diferente). El gráfico inferior muestra el perfil de la activación de la RMNf en esta región. Hay una respuesta más fuerte a palabras que a series de consonantes, lo cual indica la adaptación de esta área a los límites culturales de la escritura que los participantes podían leer. La respuesta idéntica a las palabras presentada en los campos visuales izquierdo y derecho sugiere que en esta región se alcanza la invariancia espacial.

Tanaka y sus colegas (Tanaka, 1996) han estudiado las características mínimas de los objetos que hacen que las neuronas occipitotemporales de los monos se disparen. A tal fin, emplearon un procedimiento de simplificación progresiva. Primero, se presenta un gran grupo de objetos hasta que se encuentra uno que causa, de modo confiable, que se dispare una neurona dada. Luego, la forma del objeto se simplifica al tiempo que se intenta mantener una respuesta neuronal óptima. Cuando la forma no puede simplificarse más sin perder el disparo neuronal, se piensa que se ha descubierto la característica más simple a la que responde la neurona. Es notable que muchas de esas formas se parezcan a nuestras letras: algunas neuronas responden a dos barras con la forma de una T; otras, a un círculo o a dos círculos superpuestos que forman el número 8, etcétera. Obviamente, esas formas no se aprendieron como letras. Más bien, han surgido, en el curso de la ontogenia o la filogenia, como un repertorio simple de formas que pueden usarse, de manera colectiva, para representar una gran variedad de figuras y de objetos naturales.

Otra propiedad esencial de las neuronas inferotemporales es su plasticidad. Los estudios de entrenamiento con formas arbitrarias, tales como fractales (Miyashita, 1988) o clips para papeles doblados en forma aleatoria (Logothetis, Pauls y Poggio, 1995) han indicado que poblaciones enteras de células con el tiempo se vuelven muy sensibles a estas formas y luego les transfieren sus propiedades de invariancia de localización, tamaño y perspectiva. En algunos casos, las células pueden volverse sensibles a dos perspectivas arbitrarias que se emparejan durante el entrenamiento. Esta capacidad de emparejarse proporciona un potencial sustrato para aprender a reconocer *A* y *a* como la misma letra, o que el sonido /house/ y la palabra *HOUSE* se refieren a lo mismo.

Finalmente, ¿por qué existe una localización reproducible para el área visual de formación de palabras entre el vasto territo-

rio cortical específico del reconocimiento visual? Estudios recientes con neuroimágenes realizados por Hasson, Malach y colaboradores (Hasson, Levy, Behrmann, Hendler y Malach, 2002; Malach, Levy y Hasson, 2002) pueden comenzar a explicar este sorprendente hallazgo. Este grupo ha descrito gradientes o sesgos a gran escala que atraviesan todo el grupo de áreas visuales y pueden establecerse muy temprano en el desarrollo, quizás a través de morfógenos (modelo de Turing). Un sesgo semejante se relaciona con la excentricidad de la retina: algunos territorios corticales responden preferentemente a la fovea; otros, a la periferia de la retina. Es notable que el área visual de formación de palabras, como el área del rostro, en forma sistemática ocupe el pico sensible a la fovea de este gradiente sesgado. Esto tiene sentido en la medida en la que el reconocimiento tanto del rostro como de la palabra aproveche los detalles finos de los estímulos de la fovea. El reconocimiento de lugares y de casas, por otro lado, requiere integración de la información en un mayor grado del campo visual y activa el pico periférico del gradiente. Así, parece que cada categoría de objetos es adquirida preferencialmente por aquellas neuronas que tienen los sesgos pertinentes previos al aprendizaje y que dichos sesgos pueden explicar la localización ajustada y reproducible del sistema visual de formación de palabras sin tener que adoptar un «órgano mental» innato para la lectura.

En resumen, la lectura, igual que la aritmética, no depende solo de los mecanismos de aprendizaje generales de un área. Más bien, aprender a leer es posible, porque nuestro sistema visual ya posee mecanismos exquisitos para el reconocimiento de las formas invariables, así como también las conexiones correspondientes para vincular esas formas reconocidas con otras áreas involucradas en las representaciones semánticas auditivas y abstractas de objetos. El aprendizaje también es posible, porque la evolución ha dotado este sistema con un alto grado de plasticidad. A pesar de que no nacimos con detectores de letras, las letras están lo suficientemente cerca del repertorio normal de formas en las regiones inferotemporales para que podamos adquirirlas y mapearlas con facilidad hasta los respectivos sonidos. Reemplazamos parte de este sistema cuando aprendemos a leer, en lugar de crear un «área de lectura» *de novo*.

Sin duda, puede afirmarse que, si bien el cerebro humano no evolucionó para la lectura, podría haber ocurrido lo contrario: la

evolución cultural de los sistemas de escritura ha sido moldeada, por lo menos en parte, por la facilidad y la velocidad con las que el cerebro pudo aprender los sistemas. Esto parece haber provocado, en el curso de los siglos, la selección de un pequeño repertorio de formas de letras que concuerda muy bien con el grupo de formas que son usadas de modo espontáneo en nuestro sistema visual para codificar objetos.

Conclusión: La educación como proceso de «reciclaje neuronal»

Los campos de la aritmética y la lectura, en los que se centra este capítulo, exhiben importantes puntos en común, pero también importantes diferencias. En ambos casos, los seres humanos aprenden a atribuir significado a formas convencionales (números arábigos o el alfabeto) y terminan haciéndolo de un modo altamente eficiente, incluso subliminal. Además, las activaciones cerebrales asociadas con estas actividades culturales son sumamente reproducibles. Por último, resulta que las áreas del cerebro involucradas tienen una función en extremo relacionada en la evolución de los primates. Sin embargo, existe una importante diferencia entre la aritmética y la lectura. Por un lado, hay un verdadero precursor de la aritmética en la evolución de los primates. La corteza intraparietal ya parece estar involucrada en la representación numérica en los primates, y el mapeo cultural de los símbolos numéricos en esta representación aumenta en gran medida —aunque no modifica radicalmente— su capacidad computacional. Por otro lado, el precursor evolutivo del área visual de formación de palabras inicialmente no está relacionado con la lectura. Evolucionó para el reconocimiento de objetos, función significativamente diferente del mapeo del lenguaje escrito a sonido y significado.

Como una generalización de esos dos ejemplos, tentativamente propongo que la capacidad humana para adquirir nuevos objetos culturales depende de un proceso de «reconversión» o de «reciclaje» neuronal por el que esos objetos novedosos invaden los territorios corticales que al principio estaban destinados a funciones similares o bastante cercanas. Según este punto de vista, nuestra historia evolutiva y, por lo tanto, nuestra organización genética, especifica una arquitectura cerebral que es tanto limitada como parcialmente

plástica y que determina un espacio de objetos que pueden aprenderse. Nuevas adquisiciones culturales son posibles solo en la medida en que puedan encajar dentro de los límites preexistentes de nuestra arquitectura cerebral.

Resulta útil contrastar este modelo de «reciclaje neuronal» con el modelo opuesto, aunque algo caricaturesco, del cerebro como una «hoja en blanco». Según este último, la educación puede compararse con llenar el espacio de un cerebro vacío, capaz de absorber cualquier tipo de instrucción. No obstante, los educadores saben que esto no es lo que está ocurriendo en el aula (véase Bruer, este libro). El niño real está mucho más dotado y, en ocasiones, se resiste mucho más al cambio de lo que predeciría el modelo de la hoja en blanco. Según el modelo de «reciclaje neuronal», las intuiciones y la ocasional terquedad de los niños pueden comprenderse como efectos de una estructura cerebral previa. En muchos casos, las representaciones cerebrales que heredamos de nuestra evolución de los primates facilitan el aprendizaje basado en la escuela. La educación matemática, en particular, debería aprovechar estas intuiciones primitivas, que probablemente se extienden más allá de la dimensión de la numerosidad hacia muchas otras áreas de la ciencia y la matemática, incluidos el espacio, tiempo, movimiento y fuerza, entre otros.

Sin embargo, en algunos casos, la educación debe ir más allá de la comprensión intuitiva que el niño tiene de un área, o incluso luchar activamente contra un sesgo existente. Por ejemplo, en aritmética, al parecer, la representación aproximada espontánea que el cerebro hace de la numerosidad inicialmente es incapaz de representar el cero, los números negativos o las fracciones. La intuición de los niños, por lo tanto, debe extenderse a esos casos, una empresa difícil que también fue un importante obstáculo en la historia de la matemática, aunque uno que probablemente pueda evitarse enseñando las metáforas apropiadas, tales como la noción de que los números negativos corresponden a una extensión de la recta numérica hacia la izquierda.

De modo similar, en la lectura, una posible fuente de dificultad para el niño reside en tener que desaprender un tipo de invariancia que nuestro sistema visual proporciona de modo espontáneo: la invariancia para la simetría izquierda-derecha. Existe evidencia de que el sistema visual de los primates, una vez que ha aprendido a reconocer una forma, generaliza de modo espontáneo

a la forma simétrica correspondiente (Baylis y Driver, 2001; Noble, 1968; Rollenhagen y Olson, 2000). No obstante, esta capacidad en realidad es contraproducente al tener que aprender que p y q , o que b y d , son letras que no están relacionadas. De acuerdo con el modelo de reciclaje neuronal, muchos, si no todos los niños, al parecer atraviesan una etapa en la que espontáneamente cometen errores de inversión izquierda-derecha, y lentamente aprenden que esta generalización no es apropiada en la lectura (McMonnies, 1992).

Otra limitación en la lectura, tal vez más central, es que los sistemas alfabéticos mapean las formas de las letras a elementos de sonido, fonemas, que inicialmente no están explícitos en nuestro sistema de procesamiento auditivo. Comprender qué es un fonema y conectar las representaciones fonémicas con formas abstractas de letras, al parecer es un obstáculo mayor para muchos niños (véase el capítulo de Usha Goswami en este libro). En efecto, tal vez sea la única fuente más importante de dificultades en la lectura, en niños con dislexia del desarrollo.

Como se mostró en estos ejemplos, es probable que comprender las representaciones iniciales de un niño y cómo estas representaciones se modifican en el transcurso del aprendizaje sea esencial a fin de mejorar la educación básica en lengua y matemática. He querido tratar específicamente dos áreas, la aritmética y la lectura, pero podría desarrollarse un argumento muy similar para el aprendizaje de una segunda lengua o para muchos otros aspectos de la matemática. En cada caso, los educadores obtendrán provecho al comprender el estado inicial, la trayectoria del desarrollo y el estado final de los cambios cerebrales que están tratando de enseñar. Por último, los docentes también deben tener en cuenta que es posible que una pequeña categoría de niños sufra verdaderos déficits cerebrales que no afectan la inteligencia general, pero que tienen un impacto limitado en el aprendizaje en áreas específicas del conocimiento. También en este campo, es probable que comprender la base cerebral de estas patologías mejore nuestra capacidad de rehabilitarlas o de evitarlas.

Referencias

Allison, T., Puce, A., Spencer, D. D. y McCarthy, G. (1999). «Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials

- generated in occipitotemporal cortex by face and non-face stimuli», *Cerebral Cortex*, 9(5), 415-430.
- Baylis, G. C. y Driver, J. (2001). «Shape-coding in IT cells generalizes over contrast and mirror reversal, but not figure-ground reversal», *Nat. Neurosci.*, 4(9), 937-942.
- Butterworth, B. (1999). *The Mathematical Brain*, Londres, Macmillan.
- Cohen, L. y Dehaene, S. (2004). «Specialization within the ventral stream: The case for the Visual Word Form Area», *NeuroImage*, en imprenta.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S. y Dehaene, S. (2002). «Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area», *Brain*, 125(Pt 5), 1054-1069.
- Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehericy, S., Samson, Y., Obadia, M. y cols. (2003). «Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias», *Cerebral Cortex*, 13, 1313-1333.
- Dehaene, S. (1992). «Varieties of numerical abilities», *Cognition*, 44, 1-42.
- (1997). *The Number Sense*, Nueva York, Oxford University Press.
- Dehaene, S. y Changeux, J. P. (1993). «Development of elementary numerical abilities: A neuronal model», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 390-407.
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G. y Cohen, L. (1998). «Abstract representations of numbers in the animal and human brain», *Trends in Neuroscience*, 21, 355-361.
- Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D. y cols. (2004). «Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence», *Psychological Science*, en imprenta.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Le Bihan, D., Mangin, J. F., Poline, J. B. y cols. (2001). «Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming», *Nat. Neurosci.*, 4(7), 752-758.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. y Cohen, L. (2003). «Three parietal circuits for number processing», *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487-506.
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R. y Tsivkin, S. (1999). «Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence», *Science*, 284(5416), 970-974.

- Déjerine, J. (1892). «Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale», *Mémoires de la Société de Biologie*, 4, 61-90.
- Eger, E., Sterzer, P., Russ, M. O., Giraud, A. L. y Kleinschmidt, A. (2003). «A supramodal number representation in human intraparietal cortex», *Neuron*, 37(4), 719-725.
- Gallistel, C. R. y Gelman, R. (1992). «Preverbal and verbal counting and computation», *Cognition*, 44, 43-74.
- Hasson, U., Levy, I., Behrmann, M., Hendler, T. y Malach, R. (2002). «Eccentricity bias as an organizing principle for human high-order object areas», *Neuron*, 34(3), 479-490.
- Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A. y Gadian, D. G. (2001). «Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate», *Brain*, 124(Pt 9), 1701-1707.
- Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E. y Cohen, L. (2003). «Approximate quantities and exact number words: Dissociable systems», *Neuropsychologia*, 41, 1942-1958.
- Lipton, J. y Spelke, E. (2003). «Origins of number sense: Large number discrimination in human infants», *Psychological Science*, 14, 396-401.
- Logothetis, N. K., Pauls, J. y Poggio, T. (1995). «Shape representation in the inferior temporal cortex of monkeys», *Curr. Biol.*, 5(5), 552-563.
- Malach, R., Levy, I. y Hasson, U. (2002). «The topography of high-order human object areas», *Trends in Cogn. Sci.*, 6(4), 176-184.
- McMonnies, C. W. (1992). «Visuo-spatial discrimination and mirror image letter reversals in reading», *J. Am. Optom. Assoc.*, 63(10), 698-704.
- Miyashita, Y. (1988). «Neuronal correlate of visual associative long-term memory in the primate temporal cortex», *Nature*, 335(6193), 817-820.
- Molko, N., Cachia, A., Riviere, D., Mangin, J. F., Bruandet, M., Le Bihan, D. y cols. (2003). «Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin», *Neuron*, 40(4), 847-858.
- Molko, N., Cohen, L., Mangin, J. F., Chochon, F., Lehéricy, S., Le Bihan, D. y cols. (2002). «Visualizing the neural bases of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 629-636.

- Naccache, L. y Dehaene, S. (2001). «The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes», *Cerebral Cortex*, 11(10), 966-974.
- Nieder, A., Freedman, D. J. y Miller, E. K. (2002). «Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex», *Science*, 297(5587), 1708-1711.
- Nieder, A. y Miller, E. K. (2003). «Coding of cognitive magnitude. Compressed scaling of numerical information in the primate prefrontal cortex», *Neuron*, 37(1), 149-157.
- Nieder, A. y Miller, E. K. (2005). «Neural correlates of numerical cognition in the neocortex of non-human primates», en S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser y G. Rizzolatti (comps.), *From Monkey Brain to Human Brain*, Cambridge, MIT Press.
- Noble, J. (1968). «Paradoxical interocular transfer of mirror-image discriminations in the optic chiasm sectioned monkey», *Brain Res.*, 10(2), 127-151.
- Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N. y cols. (2001). «Dyslexia: cultural diversity and biological unity», *Science*, 291(5511), 2165-2167.
- Pinker, S. (2002). *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature*, Londres, Penguin Books.
- Quartz, S. R. y Sejnowski, T. J. (1997). «The neural basis of cognitive development: a constructivist manifesto», *Behav. Brain Sci.*, 20(4), 537-556, análisis 556-596.
- Rollenhagen, J. E. y Olson, C. R. (2000). «Mirror-image confusion in single neurons of the macaque inferotemporal cortex», *Science*, 287(5457), 1506-1508.
- Sawamura, H., Shima, K. y Tanji, J. (2002). «Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey», *Nature*, 415(6874), 918-922.
- Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O. y Gross-Tsur, V. (2000). «Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis», *Eur. Child Adolesc. Psychiatry*, 9(Supl. 2), II, 58-64.
- Tanaka, K. (1996). «Inferotemporal cortex and object vision», *Annual Review of Neuroscience*, 19, 109-139.

Colaboradores

ANTONIO M. BATTRO, Pontificia Academia de las Ciencias y Academia Nacional de Educación, Buenos Aires.

JOHN T. BRUER, Fundación James McDonnell, St. Louis.

DANIEL P. CARDINALI, Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires.

STANISLAS DEHAENE, Colegio de Francia, París.

KURT W. FISCHER, Facultad de Posgrado en Educación, Universidad de Harvard.

USHA GOSWAMI, Facultad de Educación, Universidad de Cambridge.

HIDEAKI KOIZUMI, Laboratorio de Investigación Avanzada, Hitachi Ltd., Japón.

PIERRE J. LÉNA, Pontificia Academia de las Ciencias, Observatorio de París, Universidad de París VII.

RITA LEVI-MONTALCINI, Pontificia Academia de las Ciencias, Instituto de Neurobiología, Roma.

JÜRGEN MITTELSTRASS, Pontificia Academia de las Ciencias, Centro de Filosofía y Teoría de la Ciencia, Universidad de Constanza.

LAURA-ANN PETITTO, Departamento de Psicología, Universidad de Toronto, Scarborough.

MICHAEL I. POSNER, Departamento de Psicología, Universidad de Oregón.

MARY K. ROTHBART, Departamento de Psicología, Universidad de Oregón.

M. ROSARIO RUEDA, Departamento de Psicología, Universidad de Oregón.

WOLF SINGER, Pontificia Academia de las Ciencias, Instituto Max Planck para la Investigación del Cerebro, Fráncfort.

HENDERIEN STEENBEEK, Facultad de Ciencias Conductuales y Sociales, Departamento de Psicología, Universidad de Groninga.

PAUL VAN GEERT, Facultad de Ciencias Conductuales y Sociales, Departamento de Psicología, Universidad de Groninga.

FERNANDO VIDAL, Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia, Berlín.

MARYANNE WOLF, Centro para la Investigación de la Lectura y el Lenguaje, Universidad Tufts.

