

EL CEREBRO LECTOR

Stanislas Dehaene

Últimas noticias de las neurociencias sobre la lectura,
la enseñanza, el aprendizaje y la dislexia



XXI siglo veintiuno
editores

ciencia que ladra...
serie mayor



Stanislas Dehaene es un reconocido experto en el estudio de las bases cerebrales de las principales operaciones intelectuales humanas. Formado como matemático en la École Normale Supérieure parisina y doctorado en psicología cognitiva, fue durante casi una década director de investigaciones en el INSERM (Instituto Nacional Francés de Salud e Investigación Científica) hasta ser nombrado profesor en el Collège de France, donde inauguró la cátedra de Psicología Cognitiva Experimental. Su trabajo integra perspectivas históricas, genéticas, fisiológicas y cognitivas, con el objetivo de dilucidar el fundamento de actividades como el razonamiento, la conciencia o la lectura. Su importante tarea científica le valió el nombramiento en numerosas academias, y se complementa con la escritura de muy exitosos libros de divulgación, entre ellos *El sentido del número* y *La conciencia y el cerebro*, ambos de próxima publicación en Siglo XXI Editores.

Traducción de María Josefina D'Alessio

Revisión técnica de Virginia Jaichenco y Yamila Sevilla

EL CEREBRO LECTOR

Stanislas Dehaene

**Últimas noticias de las neurociencias sobre la lectura,
la enseñanza, el aprendizaje y la dislexia**

siglo xxi editores, méxico

CERRO DEL AGUA 248, ROMERO DE TERREROS
04310 MÉXICO, D.F.
www.sigloxxieditores.com.mx

siglo xxi editores, argentina

GUATEMALA 4824, C1425 BUP
BUENOS AIRES, ARGENTINA
www.sigloxxieditores.com.ar

salto de página

ALMAGRO 38
28010 MADRID, ESPAÑA
www.saltodepagina.com

biblioteca nueva

ALMAGRO 38
28010 MADRID, ESPAÑA
www.bibliotecanueva.es

anthropos

CILEPANT 241
08013 BARCELONA, ESPAÑA
www.anthropos-editorial.com

Dehaene, Stanislas

El cerebro lector: Últimas noticias de las neurociencias sobre la lectura, la enseñanza, el aprendizaje y la dislexia.- 1ª ed. 1ª reimpr.- Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores, 2014.

448 p.: il.; 23x16 cm.- (Ciencia que ladra... // serie Mayor, dirigida por Diego Golombek)

Traducido por María Josefina D'Alessio // ISBN 978-987-629-358-7

1. Neurociencias. I. D'Alessio, María Josefina, trad.
CDD 616.8

Título original: *Reading in the Brain*

© 2009, Stanislas Dehaene

© 2014, Siglo Veintiuno Editores Argentina S.A.

Diseño de cubierta: Juan Pablo Cambariere

Imagen de cubierta: © Photos.com

ISBN 978-987-629-358-7

Impreso en Altuna Impresores // Doblas 1968, Buenos Aires
en el mes de octubre de 2014

Índice

Este libro (y esta colección)	9
Introducción. La nueva ciencia de la lectura	13
De las neuronas a la educación	15
Las neuronas de la cultura	16
El misterio del simio lector	17
La unidad biológica y la diversidad cultural	19
Una guía para el lector	21
1. ¿Cómo leemos?	25
El ojo: un escáner pobre	28
La búsqueda de invariabilidad	34
Amplificar las diferencias	37
Cada palabra es un árbol	37
La voz silenciosa	42
Los límites del sonido	47
La lógica oculta de algunos sistemas de escritura	48
El sueño imposible de la ortografía transparente	52
Dos rutas para la lectura	57
Diccionarios mentales	61
Una asamblea de demonios	62
Lectura paralela	66
Decodificación activa de letras	67
Conspiración y competencia en la lectura	70
Del comportamiento a los mecanismos cerebrales	72
2. La “caja de letras” del cerebro	75
El descubrimiento de Joseph-Jules Déjerine	77
Alexia pura	80
Lo que una lesión pudo revelar	82
El análisis moderno de las lesiones	84
Cómo decodificar el cerebro lector	90
La lectura es universal	93

6 El cerebro lector

Un mosaico de preferencias visuales	97
¿Cuán rápido leemos?	102
Electrodos en el cerebro	104
Invariabilidad de la posición	108
La lectura subliminal	115
Cómo la cultura modela el cerebro	121
Los cerebros de los lectores chinos	126
El japonés y sus dos formas de escritura	128
Más allá de la “caja de letras”	130
Sonido y significado	135
De la ortografía al sonido	138
Avenidas que conducen al significado	140
Una marejada cerebral	145
Los límites del cerebro en la diversidad cultural	148
La lectura y la evolución	151
3. El simio lector	153
De monos y hombres	156
Neuronas para objetos	158
Células abuelas	163
Un alfabeto en el cerebro del mono	167
Protoletras	171
La adquisición de la forma	175
El instinto de aprendizaje	176
Reciclaje neuronal	179
El nacimiento de una cultura	183
Neuronas para la lectura	185
Neuronas de bigramas	189
Un árbol de palabra neuronal	195
¿Cuántas neuronas para la lectura?	197
Una simulación de la corteza del lector	200
Sesgos corticales que le dan forma a la lectura	201
4. La invención de la lectura	209
Los rasgos universales de los sistemas de escritura	212
Una proporción áurea para los sistemas de escritura	216
Signos artificiales y formas naturales	217
Precusores prehistóricos de la escritura	219
De contar a escribir	221
Los límites de la pictografía	224

El alfabeto: un gran paso hacia delante	230
Vocales: las madres de la lectura	233
5. Aprender a leer	235
El nacimiento de un futuro lector	238
Tres pasos para la lectura	241
Volverse consciente de los fonemas	242
Grafemas y fonemas: el problema del huevo y la gallina	244
La etapa ortográfica	247
El cerebro de un lector joven	247
El cerebro analfabeto	251
¿Qué cosas nos hace perder la lectura?	254
Cuando las letras tienen colores	259
De la neurociencia a la educación	263
Las guerras de la lectura	264
El mito de la lectura por palabra completa	268
La ineficiencia del enfoque del lenguaje integral	271
Algunas sugerencias para educadores	274
6. El cerebro disléxico	281
¿Qué es la dislexia?	284
Problemas fonológicos	285
La unidad biológica de la dislexia	291
El sospechoso de siempre: el lóbulo temporal izquierdo	295
Migraciones neuronales	298
El ratón disléxico	302
La genética de la dislexia	304
Superar la dislexia	307
7. La lectura y la simetría	313
Cuando los animales mezclan la derecha y la izquierda	318
Evolución y simetría	321
La percepción de la simetría y la simetría del cerebro	322
Los seguidores modernos del doctor Orton	326
Ventajas y desventajas de un cerebro simétrico	328
Neuronas y simetría	330
Conexiones simétricas	333
Simetría latente	338
Romper el espejo	341
La simetría rota... ¿o la simetría oculta?	343

La simetría, la lectura y el reciclaje neuronal	347
Un caso sorprendente de dislexia en espejo	349
8. Hacia una cultura de las neuronas	355
Resolver la paradoja de la lectura	358
La universalidad de las formas culturales	359
El reciclaje neuronal y los módulos cerebrales	362
Hacia una lista de las invariantes culturales	364
Ciencias naturales	364
Matemática	364
Artes	365
Religión	366
¿Por qué somos la única especie cultural?	368
¿Una plasticidad exclusivamente humana?	369
Cuando la mente lee otras mentes	371
Un espacio de trabajo neuronal global	373
Conclusión. El futuro de la lectura	381
Agradecimientos	385
Bibliografía	387
Crédito de las figuras	439

Este libro (y esta colección)

El fanático incendiario de libros se da cuenta entonces de que todo el pueblo ha escondido los libros memorizándolos. ¡Hay libros por todas partes, ocultos en la cabeza de la gente!

Ray Bradbury, *Fahrenheit 451*

Libro, tú no has podido empapelarme,
no me llenaste de tipografía,
de impresiones celestes,
no pudiste encuadernar mis ojos.

Pablo Neruda, "Oda al libro I"

Leer es un signo de los tiempos modernos y una actividad relativamente joven para nosotros los humanos. La lectura, con su alfabeto, sus materiales y sus escribas, debe tener unos 6000 años, pero su lector, el cerebro, ya cumplió unos 200 000 añitos. ¿De dónde salió esta capacidad tan reciente, entonces? Es lo que investiga, y cuenta maravillosamente en este libro, Stanislas Dehaene: qué le pasó a ese pedacito de cerebro, ubicado en algún lado abajo a la izquierda, para que de pronto aprendiera a leer, como hicimos nosotros cuando temblorosamente desciframos "Emilio lee solo. Lee alelí, león, letras" en alguna página de *Mi amigo Gregorio*, el libro de lectura de primer grado (y sí, esto es estrictamente autobiográfico).

La gran paradoja que señala Dehaene es la existencia misma de ese pedacito de cerebro lector: ¿para qué y cómo evolucionó? ¿Representa una adaptación en sí mismo? ¿A qué? ¿O es un área que evolucionó para una función determinada y, ya que estaba, tomó a su cargo la de la lectura? Según el autor, la paradoja se resuelve si se tiene en cuenta que la arquitectura cerebral, que heredamos de papá y mamá y de cuanto humano caminó sobre el planeta, admite ajustes, cambios, giros a la izquierda. Así fue como la plasticidad cerebral (esa capacidad de cambio) le permitió a algún antiguo Borges deleitarse con la lectura para siempre, de acuerdo con un proceso que Dehaene llama "reciclaje neu-

ronal". Sin ánimo de anticipar el final de la historia, vale contar que el autor incluso especula con la función originaria de ese cerebritito lector: tal vez tuviera que ver con la agudeza visual para seguir presas y escapar de predadores. Pero para llegar a ese final, haremos antes el más increíble *tour* de la neurociencia: entender la lectura es entender a nuestro cerebro y, claro, a nosotros mismos.

En el fondo, el libro trata también de ese curioso casamiento entre genes y ambiente, entre naturaleza y cultura, entre un cerebro listo de fábrica y el *tuneado* que le vamos haciendo a medida que aprendemos. A medio camino entre el determinismo y el vale todo, Dehaene lleva su hipótesis del reciclaje cultural al extremo para explicar los orígenes y los presentes de la alfabetización. Casi sin darnos cuenta pasamos revista a experimentos, anatomías, imágenes cerebrales, también a los símbolos que dieron lugar a los distintos alfabetos a lo largo de la historia. Porque en todo esto hay un cerebro de mono que aprendió a leer; he aquí una de nuestras grandes capacidades como humanos. ¿Y cuál es el origen de esta capacidad lectora? ¿Estamos solos en la madrugada de la palabra escrita? Sí y no. Hay experimentos que demuestran que primates como los babuinos son capaces de aprender a discriminar entre palabras y no-palabras. Es más: luego de aprender las palabras, estos monos son capaces de identificar palabras reales desconocidas para ellos. Esto no quiere decir que estén leyendo; obviamente no entienden el significado de lo que ven, pero lo anterior sería prueba de que la capacidad de "leer" (en el sentido de discernir símbolos escritos) podría ser independiente de la del lenguaje. ¿Será que de ese modo los chicos van aprendiendo a seleccionar qué de esas cosas extrañas que aparecen escritas en papeles, carteles o la tele son verdaderamente palabras?

Pero si los monos no pueden comprender significados, nosotros sí. Como si tuviéramos una palabra en la punta de la lengua, últimamente se ha podido buscar esas palabras en la punta del cerebro. Comparando la actividad cerebral que se produce en respuesta a la observación de la misma palabra en diferentes lenguas, científicos holandeses detectaron circuitos nerviosos que parecen "entender" el concepto de lo que se lee o escucha. Eso quiere decir que tal vez todos tengamos una especie de diccionario en el cerebro, que nos permite determinar que "love" significa "amor".

Es que un tema que también fascina a los neurolingüistas es qué sucede al aprender una segunda lengua. ¿Por qué nos resulta natural asimilar la lengua materna, e incluso una segunda en la infancia, y en cambio sufrimos para pronunciar "the cat is under the table" una vez adultos?

Este aprendizaje no sólo nos permite comprar un pasaje en el metro de Nueva York o París: investigaciones recientes afirman que aprender una segunda lengua nos cambia literalmente el cerebro. El lenguaje influye en nuestra forma de pensar; así, esas dos lenguas nos permiten abrir el abanico de opciones de pensamiento y el cerebro bilingüe se demuestra más flexible; esto es conocido para el lenguaje hablado, pero resulta fascinante preguntar qué le ocurre al cerebro lector de distintos idiomas, tanto en lo que se refiere al contenido como a los símbolos y alfabetos usados (y aquí Dehaene nos invita al lejano Oriente, para ver qué les pasa a nuestras neuronas cuando leen de arriba abajo ideogramas y signos que no podrían ser más diferentes de aquellos a los que estamos acostumbrados).

Leer, se sabe, es un placer, y esto tampoco escapa a las lupas neurocientíficas. Incluso hay evidencia de que la lectura de textos de ficción tiene beneficios psicológicos. Un trabajo de la Universidad de Toronto sugiere que la simulación de la realidad se transmite desde las páginas hasta nuestros cerebros, lo que se traduce en cambios en medidas de empatía y de percepción de relaciones interpersonales. Y esto parecío ser específico de la ficción: leer “La dama del perrito” de Chéjov induce cambios en test de sociabilidad en comparación con leer aburridos prólogos como este (lo cual seguramente no se aplica al resto de este maravilloso libro...). Así, para el cerebro, la ficción es mucho más que un mero entretenimiento.

Pero tal vez lo más importante que destacar es que este libro, más allá de ser inmensamente entretenido, envía señales, propone planes, se escapa de sus páginas para llegar desde el laboratorio a los más diversos ámbitos de la sociedad. Hay que destacar que Dehaene también se dedica a pensar cómo conocer este aprendizaje de la lectura —o, en su otra pasión, de los números— puede traer beneficios al sistema educativo. Es que nuestro autor es, además, pionero en esta novedosa disciplina que se ha dado en llamar *neuroeducación*.

Tras mucho tiempo de experimentación en los campos de la memoria, del aprendizaje, de la atención y, como en este caso, de la lectura y la escritura, los neurocientíficos notaron que hay un mundo ahí afuera y que mucho de lo que hacen con sus bienamados ratones podría llegar a ser aplicable nada menos que en la escuela de sus hijos. Es curioso: se dice que si un médico de hace un siglo entrara ahora en un quirófano se sentiría de lo más perdido con tantas maquinolas, luces, ruidos, imágenes y robots, que hasta llegan a ocultar al paciente. La medicina —fruto de la bioingeniería, de la computación, de la biología molecular— se

ha transformado por completo. Por el contrario, un maestro de hace cien años se sentiría completamente a gusto en un aula de hoy en día, con sus pupitres o gradas, su pizarrón, su discurso magistral. Y aquí es donde Dehaene se pregunta qué hacer con todo lo que hemos aprendido del cerebro lector; su respuesta es maravillosamente simple: “No es que los científicos cognitivos reemplazarán a los maestros de escuela [...], pero no hay nada en lo que un poco de ciencia no pueda ayudar”. Si conocemos más sobre el cerebro de los alumnos (y el plural del verbo abarca a maestros y padres), seguramente podremos comprenderlos más y ayudarlos, empujarlos suavemente, acompañarlos mejor.

Parecería que lo que nos dicen los experimentos sobre cómo enseñar a leer, a escribir, a aprender aritmética y, por qué no, a pensar todavía no ha traspasado completamente la frontera entre los laboratorios y el aula. Es hora de que ciencia y escuela se encuentren, y este libro es un gran paso en esa dirección.

Como diría don Jorge Luis, mientras otros se enorgullecen por lo que han escrito, a nosotros nos queda enorgullecernos por lo leído. En fin, que para el cerebro no hay nada mejor que un buen libro. Y este, sin duda, es uno de ellos.

La Serie Mayor de Ciencia que ladra... es, al igual que la Serie Clásica, una colección de divulgación científica escrita por científicos que creen que ya es hora de asomar la cabeza por fuera del laboratorio y contar las maravillas, grandezas y miserias de la profesión. Porque de eso se trata: de contar, de compartir un saber que, si sigue encerrado, puede volverse inútil. Esta nueva serie nos permite ofrecer textos más extensos y, en muchos casos, compartir la obra de autores extranjeros contemporáneos

Ciencia que ladra... no muerde, sólo da señales de que cabalga. Y si es Serie Mayor, ladra más fuerte.

Diego Golombek

Introducción

La nueva ciencia de la lectura

Retirado en la paz de estos desiertos,
con pocos, pero doctos libros juntos,
vivo en conversación con los difuntos
y escucho con mis ojos a los muertos.

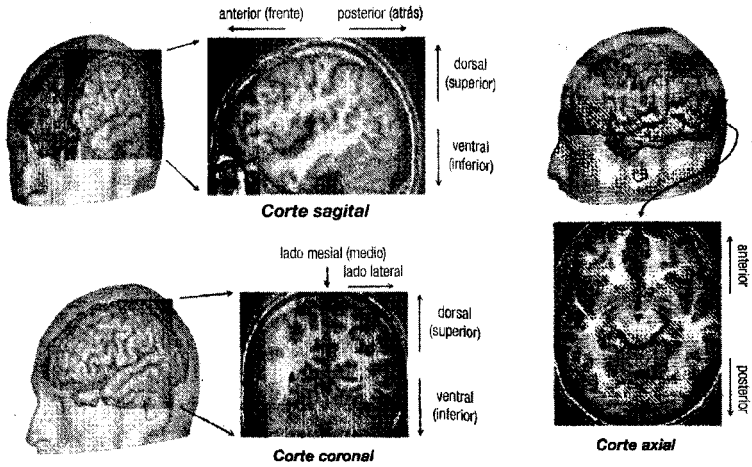
Francisco de Quevedo

En este preciso momento, su cerebro está realizando una proeza asombrosa: está leyendo. Sus ojos analizan la página en pequeños movimientos espasmódicos. Cuatro o cinco veces por segundo, su mirada se detiene el tiempo suficiente para reconocer una o dos palabras. Por supuesto, usted no se percata de cómo esta información va ingresando entrecortadamente. Sólo los sonidos y los significados de las palabras llegan a su mente consciente. ¿Pero cómo es que unas pocas marcas de un papel blanco proyectadas en su retina pueden evocar un universo entero, como hace Vladimir Nabokov en las primeras líneas de *Lolita*?:

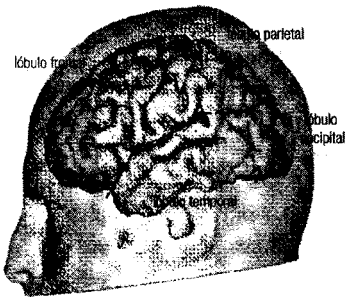
Lolita, luz de mi vida, fuego de mis entrañas. Pecado mío, alma mía. Lo-li-ta; la punta de la lengua emprende un viaje de tres pasos paladar abajo hasta apoyarse, en el tercero, en el borde de los dientes. Lo. Li. Ta.

El cerebro del lector contiene un complicado conjunto de mecanismos que armonizan admirablemente para concretar la lectura. Este talento se mantuvo como un misterio durante muchísimos siglos. Hoy, la caja negra del cerebro se ha abierto y está naciendo una verdadera ciencia de la lectura. Los avances que han hecho la psicología y la neurociencia a lo largo de los últimos veinte años han comenzado a desenmarañar los principios que subyacen a los circuitos cerebrales de la lectura. Hoy, los modernos métodos de neuroimágenes (o imágenes cerebrales) revelan, en apenas minutos, las áreas del cerebro que se activan cuando desciframos palabras escritas. Los científicos pueden rastrear una palabra escrita mientras avanza desde la retina a través de una cadena de etapas de

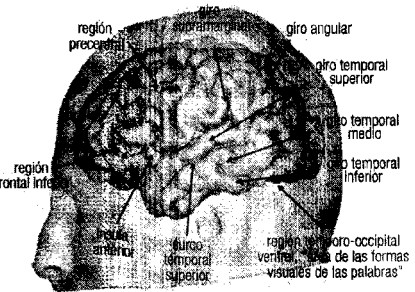
Para orientarse en el cerebro



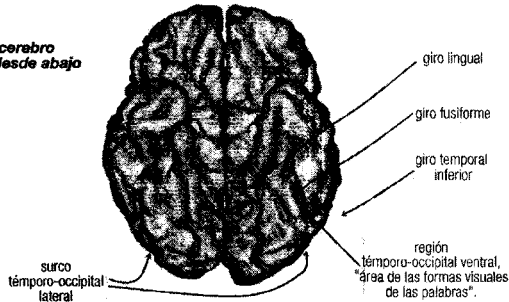
Los lóbulos principales



Algunas áreas de la lectura



El cerebro visto desde abajo



procesamiento, cada una de ellas marcada por una pregunta elemental: ¿estas son letras? ¿Cómo son? ¿Conforman una palabra? ¿Cómo suena? ¿Cómo se pronuncia? ¿Qué significa?

Sobre esta base empírica, está materializándose una teoría de la lectura. Esta teoría postula que los circuitos cerebrales que heredamos de nuestra evolución primate pueden destinarse a la tarea de reconocer palabras impresas. De acuerdo con este enfoque, nuestras redes neuronales se “reciclan”, literalmente, para la lectura. La percepción de cómo la alfabetización cambia el cerebro está transformando profundamente nuestra perspectiva de la educación y de las dificultades del aprendizaje. Se están creando nuevos programas de recuperación que a la larga permitirían encarar la extenuante incapacidad para descifrar palabras conocida como dislexia.

Mi propósito en este libro es compartir mi conocimiento acerca de los avances más recientes y poco divulgados de la ciencia de la lectura. En el siglo XXI, una persona promedio todavía sabe más acerca de cómo funciona un auto que sobre el funcionamiento interno de su propio cerebro –una situación extraña e impactante–. Quienes toman decisiones en nuestros sistemas educativos oscilan con los vientos cambiantes de las reformas pedagógicas, y a menudo ignoran descaradamente cómo aprende a leer el cerebro en realidad. Los padres, los educadores y los políticos suelen reconocer que hay una brecha entre los programas educativos y los descubrimientos más actuales de las neurociencias. Pero, en general, su idea de cómo puede contribuir este campo a los avances en la educación está basada únicamente sobre un par de imágenes en color del cerebro en funcionamiento. Por desgracia, las técnicas de imágenes que nos permiten visualizar la actividad cerebral son sutiles y, en ocasiones, engañosas. La nueva ciencia de la lectura es tan joven y se mueve tan rápido que todavía es relativamente desconocida fuera de la comunidad científica. Mi meta es proporcionar una simple introducción a este emocionante campo, y aumentar la conciencia sobre las sorprendentes capacidades de nuestros cerebros lectores.

De las neuronas a la educación

La adquisición de la lectura es un paso muy importante en el desarrollo de un niño. Y muchos niños tienen que hacer grandes esfuerzos al comienzo para aprender a leer, y hay encuestas que indican que alrededor

de un adulto de cada diez no logra dominar incluso los rudimentos de la comprensión de textos. Son necesarios años de mucho trabajo antes de que la maquinaria del cerebro que es la base de la lectura, parecida a la de un reloj, funcione de forma tan aceitada que nos olvidemos de que existe.

¿Por qué la lectura es tan difícil de dominar? ¿Qué modificaciones profundas en el circuito cerebral acompañan su adquisición? ¿Existen estrategias de enseñanza mejor adaptadas al cerebro del niño que otras? ¿Qué razones científicas, si es que hay alguna, explican por qué el método fonético –la enseñanza sistemática de la correspondencia de letras con sonidos– parece funcionar mejor que la enseñanza de palabras completas? Aunque todavía queda mucho por descubrir, la nueva ciencia de la lectura aporta respuestas cada vez más precisas para todas estas preguntas. En particular, subraya por qué las primeras investigaciones de la lectura avalaban erróneamente el enfoque de la palabra completa, y cómo las investigaciones recientes sobre las redes cerebrales de la lectura prueban que esas teorías estaban equivocadas.

Comprender lo que ocurre durante la lectura también echa luz sobre sus patologías. A partir de nuestras exploraciones de la mente y del cerebro del lector, presentaremos pacientes que repentinamente perdieron la habilidad de leer luego de una apoplejía. También voy a analizar las causas de la dislexia, cuyas bases cerebrales están saliendo a la luz progresivamente. Está claro, ahora, que el cerebro disléxico es sutilmente diferente del cerebro de un lector normal. Se han identificado muchos genes de susceptibilidad a la dislexia. Pero de ninguna manera esto es motivo para desesperanzarse o renunciar. Se están definiendo nuevas terapias de intervención. El reentrenamiento intensivo del lenguaje y de los circuitos de lectura ha traído consigo grandes mejoras en los cerebros de los niños, fácilmente detectables con neuroimágenes.

Las neuronas de la cultura

Nuestra habilidad para leer nos pone cara a cara con la singularidad del cerebro humano. ¿Por qué el *Homo sapiens* es la única especie que se enseña a sí misma activamente? ¿Por qué es único en su capacidad de transmitir una cultura sofisticada? ¿Cómo se relaciona el mundo biológico de las sinapsis y las neuronas con el universo de las invenciones culturales humanas? La lectura, y también la escritura, la matemática, el

arte, la religión, la agricultura y la vida de ciudad han incrementado radicalmente las capacidades innatas de nuestros cerebros de primates. Sólo nuestra especie supera su condición biológica, crea un ambiente cultural artificial para sí misma y se enseña nuevas habilidades como la lectura. Esta competencia únicamente humana es desconcertante y amerita una explicación teórica.

Una de las técnicas básicas de la caja de herramientas del neurobiólogo consiste en “ponerle neuronas a la cultura”, es decir, dejar que las neuronas crezcan en una placa de Petri. En este libro promuevo una “cultura de las neuronas” diferente, una nueva forma de mirar las actividades culturales humanas, basada en nuestra comprensión de cómo estas se proyectan en las redes neuronales donde se asientan. La meta reconocida de las neurociencias es describir cómo los componentes elementales del sistema nervioso conducen a las regularidades que pueden observarse en la conducta de niños y adultos (incluidas las habilidades cognitivas avanzadas). La lectura ofrece uno de los bancos de pruebas más apropiados para este enfoque “neurocultural”. Cada vez entendemos mejor cómo sistemas de escritura tan diferentes como el chino, el hebreo o el inglés se inscriben en nuestros circuitos cerebrales. En el caso de la lectura, esto nos permite trazar con claridad vínculos directos entre nuestra arquitectura neuronal innata y nuestras habilidades culturales, pero esperamos que este enfoque neurocientífico se extienda en el futuro a otros ámbitos importantes de la expresión cultural humana.

El misterio del simio lector

Si vamos a reconsiderar la relación entre el cerebro y la cultura, debemos abordar un enigma que llamo la *paradoja de la lectura*: ¿por qué nuestro cerebro de primates puede leer? ¿Por qué tiene una inclinación a la lectura, aun cuando esta actividad cultural fue inventada sólo hace unos pocos miles de años?

Hay buenas razones por las que esta pregunta engañosamente simple merece ser llamada una paradoja. Hemos descubierto que el cerebro alfabetizado contiene mecanismos corticales especializados que están exquisitamente dispuestos para el reconocimiento de las palabras escritas. Es aún más sorprendente que los mismos mecanismos, en todos los humanos, estén sistemáticamente alojados en regiones cerebrales idénticas, como si hubiera un órgano cerebral para la lectura.

Pero la escritura nació solamente hace cinco mil cuatrocientos años en la zona de la Media Luna Fértil, y el alfabeto en sí mismo tiene sólo tres mil ochocientos años. Estas cantidades de tiempo son una nimiedad en términos evolutivos. De este modo, la evolución no tuvo tiempo de desarrollar circuitos especializados de lectura para el *Homo sapiens*. Nuestro cerebro está construido sobre el mapa genético que les permitió sobrevivir a nuestros ancestros cazadores y recolectores. Disfrutamos de leer a Nabokov y a Shakespeare utilizando un cerebro de primates originariamente diseñado para la vida en la sabana africana. Nada de nuestra evolución podría habernos preparado para absorber el lenguaje a través de la visión. Sin embargo, las neuroimágenes demuestran que el cerebro adulto contiene circuitos fijos finamente preparados para la lectura.

La paradoja de la lectura nos recuerda la parábola con la que el reverendo William Paley quiso probar la existencia de Dios. En su *Teología natural* (1802), imaginó que en un páramo desierto alguien encontraba un reloj completo, con sus intrincados mecanismos internos claramente diseñados para medir el tiempo. ¿No sería esto una prueba transparente, argumentaba Paley, de que hay un relojero inteligente, un diseñador que creó el reloj deliberadamente? De forma similar, Paley sostenía que los intrincados dispositivos que encontramos en los organismos vivos, como los sorprendentes mecanismos del ojo, prueban que la naturaleza es la obra de un relojero divino.

Charles Darwin nos aportó una famosa refutación para Paley, porque le demostró que la selección natural ciega puede producir estructuras sumamente organizadas. Incluso si los organismos biológicos, a primera vista, parecen diseñados para un propósito específico, al examinarlos más de cerca se revela que su organización está lejos de la perfección que uno esperaría de un arquitecto omnipotente. Imperfecciones de todo tipo demuestran que la evolución no es guiada por un creador inteligente, sino que sigue caminos aleatorios en la lucha por sobrevivir. En la retina, por ejemplo, los vasos sanguíneos y los cables nerviosos están situados *por delante* de los fotorreceptores, de modo que bloquean parcialmente la luz que llega y crean un punto ciego: un diseño ciertamente muy pobre.

Siguiendo las huellas de Darwin, Stephen Jay Gould dio muchos ejemplos del resultado imperfecto de la selección natural, incluido el pulgar del panda (Gould, 1992). El evolucionista británico Richard Dawkins también explicó que los delicados mecanismos del ojo o del ala únicamente podrían haber emergido a través de la selección natural, o con el

trabajo de un “relojero ciego” (Dawkins, 1996). El evolucionismo darwiniano parece ser la única fuente evidente de “diseño” de la naturaleza.

Cuando se trata de explicar la lectura, sin embargo, la parábola de Paley es problemática de una manera sutilmente diferente. Los mecanismos cerebrales que son la base de la lectura son ciertamente comparables en la complejidad y en su fino diseño con los del reloj abandonado en el páramo. Toda su organización está orientada hacia la única meta aparente de decodificar las palabras escritas de forma tan rápida y precisa como sea posible. No obstante, ni la hipótesis de un creador inteligente ni la de un lento surgimiento gracias a la selección natural parecen brindar una explicación plausible de los orígenes de la lectura. Simplemente, el tiempo fue muy poco para que la evolución haya diseñado circuitos de lectura específicos. ¿Cómo es, entonces, que nuestro cerebro primate aprendió a leer? Nuestra corteza es resultado de millones de años de evolución en un mundo sin escritura: ¿por qué puede adaptarse a los desafíos específicos planteados por el reconocimiento de la palabra escrita?

La unidad biológica y la diversidad cultural

En las ciencias sociales, la adquisición de habilidades culturales como la lectura, la matemática o las bellas artes raramente, si es que alguna vez, se plantea en términos biológicos. Hasta hace escaso tiempo, muy pocos científicos sociales consideraban que la biología cerebral y la teoría de la evolución eran siquiera relevantes para sus campos. Incluso hoy, la mayoría de ellos apoya implícitamente un modelo simplista del cerebro, ya que lo concibe de manera tácita como un órgano infinitamente plástico, cuya capacidad de aprendizaje es tan amplia que no planteará ningún límite en el alcance de la actividad humana. Esta no es una idea nueva. Data de las teorías de los empiristas británicos John Locke, David Hume y George Berkeley, quienes planteaban que el cerebro humano debía ser comparado con una página en blanco que progresivamente recibe a través de los cinco sentidos las marcas del ambiente natural y cultural del hombre.

Esta visión de la humanidad, que niega la existencia misma de una naturaleza humana, ha sido a menudo adoptada sin cuestionamientos. Pertenece al “modelo estándar de las ciencias sociales” (Barkow, Cosmides y Tooby, comps., 1992; Pinker, 2002), compartido por muchos antropólogos, sociólogos, algunos psicólogos e incluso unos pocos neu-

rocientíficos que ven la superficie cortical como “en general equipotencial y libre de estructura de dominio específico” (Quartz y Sejnowski, 1997). Este modelo sostiene que la naturaleza humana se construye, de manera gradual y flexible, a través de la impregnación cultural. Como resultado, de acuerdo con esta perspectiva los niños nacidos dentro de la cultura inuit, entre los cazadores recolectores del Amazonas o en una familia de clase media de Nueva York, tienen poco en común. Incluso la percepción del color, la apreciación musical o la noción de lo que está bien y lo que está mal deberían variar de una cultura a otra, simplemente porque el cerebro humano tiene pocas estructuras estables más allá de la capacidad de aprender.

Los empiristas sostienen además que el cerebro humano, sin importar las limitaciones biológicas y a diferencia del de muchas otras especies animales, puede absorber cualquier forma de cultura. Desde esta perspectiva teórica, hablar sobre las bases cerebrales de los inventos culturales como la lectura es, pues, absolutamente irrelevante, algo muy similar a analizar la composición atómica de una obra de Shakespeare.

En este libro, refuto dicha visión simplista de una adaptabilidad infinita del cerebro a la cultura. La nueva evidencia acerca de los circuitos cerebrales de la lectura demuestra que la hipótesis de un cerebro equipotencial es errónea. Si el cerebro no fuera capaz de aprender, no podría adaptarse a las reglas específicas de la escritura del inglés, el japonés o el árabe. Este aprendizaje, sin embargo, está restringido de manera muy firme, y sus mecanismos en sí mismos están rígidamente especificados por nuestros genes. La arquitectura cerebral es similar en todos los miembros de la familia de los *Homo sapiens*, y se diferencia muy poco de la de otros primates. A lo largo y a lo ancho del mundo, las mismas regiones cerebrales se activan para decodificar una palabra escrita. Ya se trate de francés o de chino, el aprendizaje de la lectura recorre un circuito genéticamente condicionado.

Sobre la base de estos datos, propongo una teoría novedosa de las interacciones neuroculturales, radicalmente opuesta al relativismo cultural, y capaz de resolver la paradoja de la lectura. La llamo la hipótesis del “reciclaje neuronal”. Desde este punto de vista, la arquitectura del cerebro humano obedece a restricciones genéticas muy fuertes, pero algunos circuitos han evolucionado para tolerar un margen de variabilidad. Parte de nuestro sistema visual, por ejemplo, no está programado de antemano, sino que permanece abierto a cambios en el ambiente. En el marco de un cerebro bien estructurado en otros aspectos, la plasticidad visual les dio a los antiguos escribas la oportunidad de inventar la lectura.

En general, un conjunto de circuitos cerebrales, definido por nuestros genes, brinda “pre-representaciones” (Changeux, 1983) o hipótesis que nuestro cerebro puede tener sobre los futuros desarrollos en su ambiente. Durante el desarrollo del cerebro, los mecanismos de aprendizaje seleccionan qué pre-representaciones pueden adaptarse mejor a determinada situación. La adquisición cultural se da gracias a este margen de plasticidad cerebral. Lejos de ser una pizarra en blanco que asimila todo lo que se encuentra a su alrededor, nuestro cerebro se adapta a una cultura dada cambiando mínimamente el uso de sus predisposiciones para darles un uso diferente. No es una *tabula rasa* en la cual se acumulan construcciones culturales, sino un dispositivo cuidadosamente estructurado que se las arregla para adaptar algunas de sus partes para un nuevo uso. Cuando aprendemos una nueva habilidad, reciclamos algunos de nuestros antiguos circuitos cerebrales de primates, en la medida, por supuesto, en que esos circuitos puedan tolerar el cambio.

Una guía para el lector

En los capítulos que siguen voy a mostrar cómo el reciclaje neuronal puede explicar la alfabetización, sus mecanismos en el cerebro, e incluso su historia. En los tres primeros capítulos, analizo los mecanismos de la lectura en los adultos expertos. El capítulo 1 prepara la escena al analizar la lectura desde un punto de vista psicológico: ¿cuán rápido leemos y cuáles son los determinantes más importantes del comportamiento lector? En el capítulo 2, paso a hablar de las áreas del cerebro que se ponen en funcionamiento cuando leemos, y de cómo pueden visualizarse utilizando modernas técnicas de imágenes cerebrales. Finalmente, en el capítulo 3, bajo al nivel de las neuronas individuales y de su organización en los circuitos que reconocen letras y palabras.

Abordo mi análisis de una forma absolutamente mecánica. Propongo exponer los engranajes del cerebro del lector de una forma muy similar a aquella en la que el reverendo Paley sugería que desmanteláramos el reloj que se encontraba abandonado en el páramo. El cerebro del lector no revelará, sin embargo, un mecanismo perfecto de reloj diseñado por un relojero divino. Nuestros circuitos de la lectura contienen no pocas imperfecciones que delatan el acuerdo de nuestro cerebro entre lo que se necesita para la lectura y los mecanismos biológicos disponibles. Las peculiares características del sistema visual de los primates explican por qué la lectura no opera como un escáner rápido y eficiente. A medi-

da que movemos nuestros ojos por la página, colocamos cada palabra lentamente en la región central de nuestra retina, sólo para que estalle en una miríada de fragmentos que nuestro cerebro luego vuelve a unir. Sólo porque estos procesos se han vuelto automáticos e inconscientes, gracias a años de práctica, es que tenemos la ilusión de que la lectura es simple y se da sin esfuerzo.

La paradoja de la lectura expresa el hecho irrefutable de que nuestros genes no han evolucionado para hacernos capaces de leer. Mi razonamiento frente a este enigma es bastante simple. Si el cerebro no evolucionó para la lectura, lo opuesto debe ser verdad: los sistemas de escritura deben haber evolucionado en el marco de nuestras limitaciones cerebrales. El capítulo 4 repasa la historia de la escritura bajo esta luz, comenzando con los primeros símbolos prehistóricos para terminar con la invención del alfabeto. A cada paso, hay evidencia de leves y constantes ajustes culturales. Por muchos milenios, los escribas se esforzaron por diseñar palabras, signos y alfabetos que pudieran funcionar dentro de los límites de nuestro cerebro de primates. Hasta hoy, los sistemas de escritura mundiales todavía comparten un número de rasgos de diseño cuyos orígenes pueden rastrearse, básicamente, hasta las restricciones impuestas por nuestros circuitos cerebrales.

Continuando con la idea de que nuestro cerebro no fue diseñado para la lectura, sino que recicla algunos de sus circuitos para esta actividad cultural nueva, el capítulo 5 examina cómo aprenden a leer los niños. La investigación psicológica concluye que no hay muchas formas de convertir un cerebro primate en el de un lector experto. Este capítulo explora con cierto detalle la única trayectoria de desarrollo que parece existir. Sería un buen consejo para las escuelas aprovechar este conocimiento para optimizar la enseñanza de la lectura y mitigar los dramáticos efectos del analfabetismo y la dislexia.

También voy a mostrarles luego cómo un enfoque neurocientífico puede echar luz sobre los rasgos más misteriosos de la adquisición de la lectura. Por ejemplo, ¿por qué tantos niños a menudo escriben sus primeras palabras de derecha a izquierda? Al contrario de la idea aceptada, estos errores de inversión en espejo no son los primeros signos de la dislexia, sino una consecuencia natural de la organización de nuestro cerebro visual. En la mayoría de los niños, la dislexia se relaciona con otra anomalía muy distinta en el procesamiento de los sonidos del habla. El capítulo 6 se ocupa de describir los síntomas de la dislexia, sus bases cerebrales y los descubrimientos más recientes respecto de sus bases genéticas, mientras que el capítulo 7 ofrece una revisión de aquello

que los errores de escritura en espejo pueden decirnos acerca del reconocimiento visual normal.

Finalmente, en el capítulo 8, vuelvo sobre el increíble hecho de que sólo nuestra especie sea capaz de lograr inventos culturales tan sofisticados como la lectura, una proeza única que no puede ser igualada por ningún otro primate. En completa oposición con el modelo de la ciencia social estándar, según el cual la cultura se pasea gratuitamente por un cerebro-pizarra en blanco, la lectura demuestra que la cultura y la organización cerebral están ligadas inextricablemente. A lo largo de su larga historia cultural, los seres humanos descubrieron poco a poco que podían reutilizar sus sistemas visuales como medio sustituto de entrada de la lengua, y llegaron así a la lectura y la escritura. También voy a discutir brevemente cómo otros rasgos culturales humanos importantes podrían someterse a un análisis similar. La matemática, el arte, la música y la religión también pueden considerarse dispositivos evolucionados, moldeados por siglos de evolución cultural, que han invadido nuestros cerebros de primates.

Todavía queda un último enigma: si el aprendizaje existe en todos los primates, ¿por qué el *Homo sapiens* es la única especie que tiene una cultura sofisticada? Aunque este término se aplica a veces a los chimpancés, su "cultura" apenas va más allá de unas pocas buenas técnicas para abrir nueces, lavar papas o pescar hormigas con un palo: nada comparable a la aparentemente ilimitada producción humana de convenciones y sistemas simbólicos conectados que incluyen las lenguas, las religiones, las formas de arte, los deportes, la matemática o la medicina. Los primates no humanos pueden aprender lentamente a reconocer símbolos nuevos como las letras o los dígitos, pero nunca piensan en inventarlos. En mi conclusión, propongo algunas ideas tentativas sobre la singularidad del cerebro humano. La originalidad de nuestra especie puede venir de una combinación de dos factores: una teoría de la mente (la habilidad para imaginar la mente de los otros) y un espacio de trabajo global consciente (un retén interno donde puede volver a combinarse una infinita variedad de ideas). Ambos mecanismos, inscriptos en nuestros genes, conspiran para hacernos la única especie cultural. La variedad aparentemente infinita de las culturas humanas es sólo una ilusión, provocada por el hecho de que estamos atrapados en un círculo vicioso cognitivo: ¿cómo podríamos llegar a imaginar otras formas diferentes de aquellas que nuestros cerebros pueden concebir? La lectura, aunque es una invención reciente, permaneció dormida por milenios dentro del conjunto de potencialidades inscripto en nuestros cerebros. Detrás

de la aparente diversidad de los sistemas de escritura humana yace un conjunto central de mecanismos neuronales universales que, como una marca de agua, revelan los límites de la naturaleza humana.

1. ¿Cómo leemos?

El procesamiento de la palabra escrita comienza en nuestros ojos. Sólo el centro de la retina, que se conoce como fóvea, tiene una resolución lo suficientemente precisa para permitir el reconocimiento de las pequeñas letras. Nuestra mirada, entonces, debe moverse por la página constantemente. Cada vez que nuestros ojos se detienen, reconocemos una o dos palabras. Cada una de ellas es dividida, entonces, por las neuronas de la retina en una miríada de fragmentos, y debe volver a unirse antes de que pueda ser reconocida. Nuestro sistema visual extrae progresivamente grafemas, sílabas, prefijos, sufijos y raíces de las palabras. Finalmente, dos rutas importantes de procesamiento entran en juego en paralelo: la ruta fonológica, que convierte las letras en sonidos del habla, y la ruta léxica, que da acceso a un diccionario mental de significados de las palabras.

La existencia del texto es silenciosa hasta que el lector lo lee. Sólo cuando ojos capacitados entran en contacto con los signos de la escritura, comienza la vida activa del texto. Toda escritura depende de la generosidad del lector.

Alberto Manguel, *Una historia de la lectura*

A primera vista, la lectura parece algo cercano a la magia: nuestra mirada aterriza sobre una palabra y nuestro cerebro sin esfuerzo alguno nos da acceso a su significado y a su pronunciación. Pero, a pesar de las apariencias, el proceso no es para nada simple. Cuando entra a la retina, una palabra se separa en un sinnúmero de fragmentos a medida que cada parte de la imagen visual es reconocida por un fotorreceptor distinto. A partir de esta información de entrada, el desafío consiste en volver a ensamblar las piezas para decodificar qué letras están presentes en ella, para descubrir el orden en que aparecen y para, finalmente, identificar la palabra.

A lo largo de los últimos treinta años, la psicología cognitiva ha trabajado para analizar la mecánica de la lectura. Su meta es descifrar el “algoritmo” del reconocimiento visual de las palabras: la serie de pasos de procesamiento que un lector hábil aplica frente al problema de identificar palabras escritas. Los psicólogos tratan la lectura como un problema de las ciencias de la computación. Cada lector se parece a un robot con dos cámaras, es decir, los dos ojos y sus retinas. Las palabras que leemos están pintadas en ellas. Primero parecen manchas de luz y oscuridad que no son interpretables directamente como signos lingüísticos. La información visual debe volver a codificarse en un formato comprensible antes de que podamos acceder a los sonidos, las palabras y los significados apropiados. Entonces, debemos tener un algoritmo para descifrar, o sea, una receta de procesamiento similar a los programas de computación de reconocimiento automático de caracteres, que toman como *input* los píxeles que se encuentran en una página y producen como *output* la identidad de las palabras. Para lograr esta hazaña, sin que nosotros lo sepamos, en nuestro

cerebro tiene lugar un sofisticado conjunto de operaciones de decodificación, cuyos principios estamos comenzando a comprender.

El ojo: un escáner pobre

El cuento de la lectura comienza cuando la retina recibe fotones reflejados por la página escrita. Pero la retina no es un sensor homogéneo. Sólo su parte central, la fovea, es densa en células de alta resolución, sensibles a la luz que entra, mientras que el resto de la retina tiene una resolución más tosca. La fovea, que ocupa aproximadamente quince grados del campo visual, es la única parte de la retina realmente útil para la lectura. Cuando no contamos con información de la fovea, ya sea por una lesión de la retina, porque una apoplejía destruyó la parte central de la corteza visual o por un truco experimental que bloquea selectivamente la llegada de entrada visual a la fovea, la lectura se vuelve imposible (Rayner y Bertera, 1979).

La necesidad de llevar las palabras hacia la fovea explica por qué nuestros ojos están en movimiento constante cuando leemos. Cuando orientamos nuestra mirada, “escaneamos” el texto con la parte más sensible de nuestra vista, la única que tiene la resolución necesaria para distinguir letras. Sin embargo, los ojos no se mueven a través de la página de manera continua (Rayner, 1998). Todo lo contrario: se mueven en pequeños pasos, llamados “sacadas”. En este preciso momento, usted está haciendo cuatro o cinco de estos movimientos erráticos por segundo, para llevar nueva información a su fovea.

Incluso dentro de la fovea, la información visual no está representada con la misma precisión en todos los puntos. En la retina, del mismo modo que en los subsecuentes relés visuales del tálamo y de la corteza, el número de células asignadas a una porción determinada de la escena visual disminuye paulatinamente cuando uno se aleja del centro de la mirada. Esto causa una disminución gradual de la precisión visual, de modo tal que es óptima en el centro y se reduce poco a poco hacia la periferia. Tenemos la ilusión de que estamos viendo toda la escena que se encuentra delante de nosotros con la misma precisión, como si fuera filmada por una cámara digital con una distribución homogénea de píxeles. Sin embargo, a diferencia de la cámara, el sensor de nuestro ojo solamente percibe con nitidez el punto preciso donde cae nuestra mirada. Los alrededores se pierden en un borronero cada vez más confuso (figura 1.1; Sere, Marendaz y Herault, 2000).

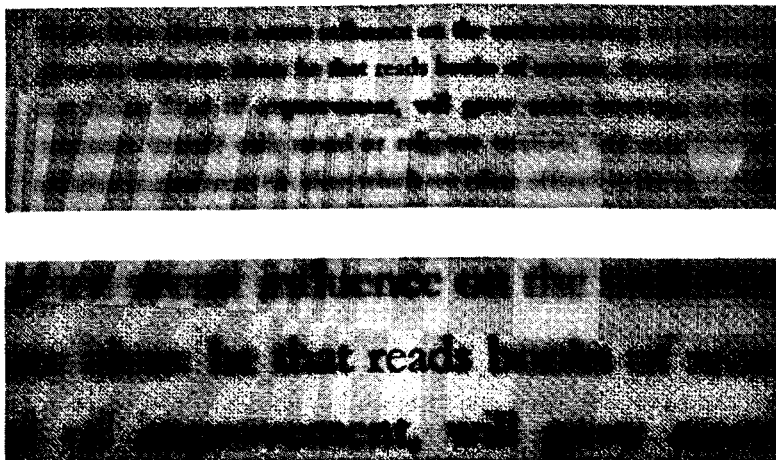


Figura 1.1. La retina filtra rigurosamente lo que leemos. En esta simulación, se filtró una página del libro *The Adventurer* de Samuel Johnson, utilizando un algoritmo que copia la forma en que la agudeza visual humana disminuye fuera del centro de la retina. Más allá del tamaño, solamente las letras que están cerca de las fijaciones pueden identificarse. Por eso cuando leemos exploramos constantemente las páginas con movimientos oculares erráticos. Cuando nuestra mirada se detiene, sólo podemos identificar una o dos palabras.

Uno puede pensar que, dadas estas condiciones, lo que determina la facilidad con la que podemos leer es el tamaño absoluto de los caracteres: las letras más pequeñas deberían ser más difíciles de leer que las grandes. Por raro que parezca, sin embargo, este no es el caso. La razón es que, cuanto más grandes son los caracteres, más espacio utilizan en la retina. Cuando se escribe una palabra completa en letras más grandes, ocupa parte de la periferia de la retina, donde incluso las letras grandes son difíciles de discernir. Los dos factores se compensan el uno al otro de manera casi exacta, por lo que una palabra **enorme** y una palabra minúscula son esencialmente equivalentes desde el punto de vista de la precisión de la retina. Por supuesto, esto es verdadero únicamente si el tamaño de los caracteres es más grande que un mínimo, que corresponde a la precisión máxima que se puede alcanzar en el centro de la fovea. Cuando la agudeza visual disminuye –por ejemplo, en los ancianos– es bastante lógico recomendar libros con letras grandes.

Como nuestros ojos están organizados de esa forma, nuestras habilidades perceptuales dependen exclusivamente del número de letras que tienen las palabras, no del espacio que estas ocupen en nuestra retina (Morrison y Rayner, 1981; O'Regan, 1990). De hecho, las sacadas que hacemos al leer varían en el tamaño absoluto, pero son constantes cuando se miden en número de letras. Cuando el cerebro se prepara para mover nuestros ojos, adapta la distancia que debe cubrirse al tamaño de los caracteres, para asegurarse de que nuestra mirada siempre avance de a pasos de entre siete y nueve letras. Este valor, que es sorprendentemente pequeño, corresponde entonces aproximadamente a la información que podemos procesar en el curso de una fijación ocular.

Para probar que sólo vemos una parte muy pequeña de cada página por vez, George W. McConkie y Keith Rayner desarrollaron un método experimental que me gusta llamar el “demonio cartesiano”. En sus *Meditaciones metafísicas*, René Descartes se imaginó que un genio maligno estaba jugando con nuestros sentidos:

Supondré, pues, que no un Dios óptimo, fuente de la verdad, sino algún genio maligno de extremado poder e inteligencia pone todo su empeño en hacerme errar; creeré que el cielo, el aire, la tierra, los colores, las figuras, los sonidos y todo lo externo no son más que engaños de sueños con los que ha puesto una celada a mi credulidad; consideraré que no tengo manos, ni ojos, ni carne, ni sangre, sino que lo debo todo a una falsa opinión mía.

De una forma muy similar a la supercomputadora de las películas de *Matrix*, el genio maligno de Descartes produce una seudorealidad cuando bombardea nuestros sentidos con señales cuidadosamente confeccionadas para crear la ilusión de una vida verdadera, una escena virtual cuyo lado verdadero siempre permanece escondido. De forma más modesta, McConkie y Rayner diseñaron una “ventana móvil” que crea la ilusión de que hay texto en la pantalla de una computadora (McConkie y Rayner, 1975). El método consiste en equipar a un voluntario humano con un dispositivo especial que sigue los movimientos de sus ojos y puede cambiar lo que se visualiza en la pantalla en tiempo real. El dispositivo puede programarse para mostrar solamente unos pocos caracteres a la izquierda y a la derecha del centro de la mirada, mientras que todo el resto de las letras de la página es reemplazado con cadenas de x:

Nosotros xx xxxxxx xx xxx xxxxxxxx xxxxxx, x xxx xx

↑

En cuanto los ojos se mueven, la computadora discretamente cambia lo que se visualiza. Su objetivo es mostrar las letras apropiadas en el lugar en el que la persona está mirando, y mostrar cadenas de x en el resto:

Xxxxxxxx xx pueblo de lxx Xxxxxxxx Xxxxxx, x xxx xx

↑

Xxxxxxxx xx xxxxxx xx xos Estados Xxxxxx, x xxx xx

↑

Xxxxxxxx xx xxxxxx xx xxx Xxxxxxxx Unidos, x xxx xx

↑

Xxxxxxxx xx xxxxxx xx xxx Xxxxxxxx Xxxxxx, a fin de

↑

Con este dispositivo, McConkie y Rayner hicieron un descubrimiento sorprendente y paradójico. Notaron que los participantes no percibían la manipulación. En tanto se le presente a la derecha y a la izquierda de la fijación la cantidad suficiente de letras, un lector no puede detectar el truco y cree que está mirando una página de texto perfectamente normal.

Esta sorprendente ceguera ocurre porque el ojo alcanza su máxima velocidad en el momento en que ocurre el cambio de letra. El truco hace que los cambios de letras sean difíciles de detectar, porque en este preciso momento toda la imagen de la retina está borroneada por el movimiento. Una vez que la mirada se detiene, todo parece normal: dentro de la fovea, las letras esperadas están en su lugar, y el resto del campo visual, que está en la periferia, no puede leerse de todos modos. El experimento de McConkie y Rainer prueba, entonces, que procesamos de forma consciente sólo un subconjunto muy pequeño de nuestros estímulos visuales. Si la computadora deja cuatro letras a la izquierda de la fijación y quince letras a la derecha, la velocidad de la lectura sigue siendo normal (Rayner, Well y Pollatsek, 1980; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek y Bertera, 1981. Para una revisión, véase Rayner, 1998). En pocas palabras, extraemos muy poca información por vez de la página escrita. ¡El genio maligno de Descartes solamente debería

mostrar veinte letras por fijación para hacernos creer que estamos leyendo la Biblia o la Constitución de los Estados Unidos!

Veinte letras es, de hecho, demasiado. Identificamos solamente diez o doce letras por sacada: tres o cuatro hacia la izquierda de la fijación, y siete u ocho a la derecha. Más allá de este punto, en general no somos sensibles a la identidad de las letras y codificamos meramente la presencia de los espacios entre las palabras. Como nos dan claves acerca de la longitud de las palabras, los espacios nos permiten preparar nuestros movimientos oculares y asegurarnos de que nuestra mirada se detenga cerca del centro de la siguiente palabra. Los expertos continúan debatiendo hasta qué punto extraemos información sobre la palabra que sigue (tal vez solamente las primeras letras). Todos están de acuerdo, sin embargo, en que la dirección de la lectura impone una asimetría en el alcance de nuestra visión. En Occidente, el alcance visual es mucho más grande hacia la derecha, pero en los lectores de árabe o de hebreo, lenguas cuya escritura se lee de derecha a izquierda, esta asimetría se da de la forma inversa (Pollatsek, Bolozky, Well y Rayner, 1981). En otros sistemas de escritura como el chino, en los cuales la densidad de los caracteres es mayor, las sacadas son más cortas y el alcance visual se reduce en consecuencia. Cada lector, entonces, adopta su estrategia de exploración visual a su lengua y a su forma de escritura.

Con el mismo método podemos estimar también cuánto tiempo es necesario para codificar la identidad de las palabras. Se puede programar una computadora para que, luego de una determinada duración, todas las letras sean reemplazadas por cadenas de x, incluso en la fovea. Este experimento revela que cincuenta milisegundos de presentación son suficientes para que la lectura se realice a un ritmo esencialmente normal. Esto no significa que todas las operaciones mentales que están involucradas en la lectura se completen en un veinteavo de segundo. Como veremos más adelante, toda una tubería de procesos mentales opera durante al menos medio segundo luego de que la palabra ha sido presentada. Sin embargo, el ingreso inicial de información visual puede ser muy breve.

En resumen, nuestros ojos le imponen muchas restricciones al acto de la lectura. La estructura de nuestros sensores visuales nos fuerza a analizar la página moviendo los ojos cada dos o tres décimas de segundo. La lectura no es otra cosa que la restitución mental de un texto palabra por palabra a partir de una serie de imágenes similares a una fotografía. Algunas pequeñas palabras gramaticales como “la”, “él”, o “es” a veces pue-

den saltarse, mientras que casi todas las palabras de contenido como los sustantivos y los verbos se fijan por lo menos una vez.

Estas limitaciones son una parte integral de nuestro aparato visual y no pueden modificarse con entrenamiento. Uno puede, desde luego, enseñarles a las personas a optimizar los patrones de movimientos oculares, pero la mayoría de los buenos lectores, que lee de cuatrocientas a quinientas palabras por minuto, ya está cerca de lo óptimo. Dadas las características del sensor del que disponemos, probablemente no sea posible obtener un desempeño mucho mejor. Una demostración simple prueba que los movimientos oculares son el paso que limita el ritmo de la lectura (Rubin y Turano, 1992). Si se presenta una oración completa, palabra por palabra, en el punto preciso donde se focaliza la mirada, para evitar de este modo la necesidad de mover los ojos, un buen lector puede leer a una velocidad asombrosa: un promedio de mil cien palabras por minuto, y hasta mil seiscientas palabras por minuto para los mejores lectores, ¡lo que significa una palabra cada cuarenta milisegundos y una lectura de tres a cuatro veces más rápida que la normal! Con este método, que se llama “presentación visual serial rápida”, o RSVP (de acuerdo con sus iniciales en inglés), la identificación y la comprensión continúan siendo satisfactorias, lo que sugiere que la duración de esos pasos centrales no impone un límite fuerte para la lectura normal. Tal vez este modo de presentación computarizada indique el futuro de la lectura en un mundo donde las pantallas poco a poco reemplazan al papel.

De cualquier forma, siempre que el texto aparezca en páginas y en líneas, la adquisición a través de la mirada hará más lenta la lectura e impondrá una limitación inevitable. Entonces, los métodos de lectura rápida que publicitan un aumento de la velocidad de hasta mil palabras por minuto o más deben mirarse con escepticismo (véase Rayner y Pollatsek, 1989: 440-449). Uno puede, sin lugar a dudas, aumentar el alcance de su visión de alguna forma, para así reducir la cantidad de sacadas por línea, y también es posible aprender a evitar los momentos de regresión, en que la mirada vuelve hacia atrás para releer las palabras que acaban de leerse. Sin embargo, los límites físicos de los ojos no pueden traspasarse; a lo sumo, uno puede estar dispuesto a saltar palabras y de este modo correr el riesgo de no entender. Woody Allen describió esta situación perfectamente: “Hice un curso de lectura rápida y pude leer *La guerra y la paz* en veinte minutos. Tiene algo que ver con Rusia”.

La búsqueda de invariabilidad

—¿Sabes leer, Lubin?

—Sí, sé leer la letra de molde, pero jamás pude aprender a leer la escritura.

Molière, *Georges Dandin*

La lectura plantea un difícil problema perceptual. Debemos identificar las palabras sin importar cómo aparezcan, si están impresas o manuscritas, en mayúsculas o en minúsculas, y sin importar su tamaño. Esto es lo que los psicólogos llaman *el problema de la invariabilidad*: necesitamos reconocer qué aspecto de una palabra no varía —la secuencia de letras— a pesar de las mil y una formas posibles que los caracteres pueden asumir.

Si la invariabilidad perceptual es un problema, es porque las palabras no están siempre en el mismo lugar, en la misma fuente ni en el mismo tamaño. Si lo estuvieran, para decodificar una palabra sería suficiente hacer sólo una lista de las células que están activas en la retina y de las que no lo están, del mismo modo en que una imagen en blanco y negro de una computadora se define por la lista de sus píxeles. Sin embargo, cientos de imágenes diferentes de la retina pueden hacer referencia a la misma palabra, dependiendo de la forma en que esté escrita (figura 1.2).

Por ende, uno de los primeros pasos de la lectura debe ser corregir la inmensa variedad entre estas formas superficiales.

Existen diferentes indicios que sugieren que nuestro cerebro aplica una solución eficiente a este problema de la invariabilidad perceptual. Cuando sostenemos un diario a una distancia razonable, podemos leer tanto los titulares como los clasificados. El tamaño de las palabras puede variar cincuenta veces sin generar un impacto en la velocidad de lectura. Esta tarea no es muy diferente de la de reconocer la misma cara u objeto desde una distancia de setenta centímetros o de veinticinco metros (nuestro sistema visual tolera grandes cambios de escala).

Una segunda forma de invariabilidad nos permite no prestar atención a la localización de las palabras en la página. Cuando nuestra mirada escanea una página, el centro de nuestra retina normalmente se detiene un poco a la izquierda del centro de las palabras. Sin embargo, nuestra puntería está lejos de ser perfecta, y nuestros ojos a veces llegan a la primera o a la última letra, sin que esto impida reconocer la palabra. Incluso podemos leer palabras que se presentan en la periferia de nuestro



Figura 1.2. La invariabilidad visual es uno de los rasgos más importantes del sistema de lectura humano. Nuestro dispositivo de reconocimiento de palabras cumple con dos requerimientos que parecen contradecirse entre sí: no presta atención a las variaciones irrelevantes en la forma de los caracteres, incluso si son grandes, pero amplifica las diferencias relevantes, incluso si son pequeñas. Nuestro sistema visual compensa automáticamente enormes variaciones de tamaño o de fuente sin que nos demos cuenta. Sin embargo, también presta atención a los cambios minúsculos de forma. Cuando se convierte una “i” en una “u” y, de este modo, “cielo” en “cuelo”, una simple marca reorienta drásticamente la cadena de procesamiento hacia pronunciaci3nes y significados completamente distintos.

campo visual, siempre que el tamaño de letra se aumente para compensar la falta de resoluci3n que se encontraría en la retina. Entonces, la constancia del tamaño va de la mano de la normalizaci3n de la localizaci3n espacial.

Por último, al reconocimiento de las palabras también le es indiferente la forma de los caracteres. Ahora que los procesadores de texto son omnipresentes, la tecnología que antes estaba reservada a una pequeña elite de tip3grafos se ha vuelto muy accesible. Todos saben que hay muchos conjuntos de caracteres llamados “fuentes” (un término que es resabio de los tiempos en que cada uno de los caracteres era moldeado en plomo en una fundici3n tipográfica antes de entrar a la imprenta). Cada fuente también tiene dos tipos de caracteres llamados “cajas”, donde cajas altas corresponde a las MAYÚSCULAS y cajas bajas, a las minúsculas (originariamente, la *caja* era una caja plana dividida en muchos compartimentos donde se distribuían los tipos más importantes; la “caja alta” estaba reservada para las mayúsculas y la “caja baja” era para el resto). Por último, uno puede elegir el “peso” de una fuente (caracteres normales o en **negrita**), su inclinaci3n (*itálicas*, inventadas en Italia), si

está subrayada o no, y cualquier combinación de *estas opciones*. Estas variaciones bien calibradas de fuentes, sin embargo, no son nada si se las compara con la enorme variedad de estilos de escritura. *La escritura manuscrita nos lleva, por supuesto, a otro nivel de Variabilidad y ambigüedad.*

Si bien se tienen en cuenta todas estas variaciones, sigue siendo un misterio cómo nuestro sistema visual aprende a categorizar formas de letras. Parte de este problema de invariabilidad puede resolverse utilizando medios relativamente simples. La vocal “o”, por ejemplo, puede reconocerse fácilmente, sin importar su tamaño, su tipo de letra o fuente, gracias a su singular forma cerrada. Entonces, construir un detector visual de “o” no es particularmente difícil. Otras letras, sin embargo, plantean problemas específicos. Consideremos la letra “r”, por ejemplo. Aunque parece obvio que las formas r, R, *r* y *r* representan la misma letra, un examen cuidadoso nos muestra que esta asociación es completamente arbitraria: la forma “e”, por ejemplo, podría ser también la versión en minúscula de la letra “R”. Solamente los accidentes de la historia nos han dejado esta peculiaridad cultural. Como resultado, cuando aprendemos a leer, no solamente debemos aprender que las letras se proyectan en los sonidos de la letra, sino también que cada letra puede presentarse de muchas formas que no se encuentran relacionadas entre sí. Como vamos a ver, nuestra capacidad de hacer esto deriva probablemente de la existencia de detectores de letras abstractos, neuronas que pueden reconocer la identidad de una letra en cualquiera de sus muchas formas. Los experimentos muestran que muy poco entrenamiento es suficiente para DeCoDiFiCaR, a UnA vElOcIdAd NoRmAl En TéRmInOs GeNeRaLeS, oRaCiOnEs CoMpLeTaS cUyAs LeTrAs Se HaN iMpReSo AlTeRnAtIvAmEnTe En MaYúScUIA y MiNúScUIA (Paap, Newsome y Noel, 1984; Besner, 1989; Mayall, Humphreys y Olson, 1997; Mayall, Humphreys, Mechelli, Olson y Price, 2001). En la computadora “genio maligno” de McConkie y Rayner, esta alternancia de mayúsculas y minúsculas se puede modificar entre sacada y sacada, ¡sin que el lector se dé cuenta! (McConkie y Zola, 1979; Rayner, McConkie y Zola, 1980). En nuestra experiencia diaria de lectura nunca se nos presentan palabras en las que alternen las mayúsculas y las minúsculas, pero nuestros procesos de normalización de letras son tan eficientes que resisten fácilmente este tipo de transformaciones.

De paso, estos experimentos demuestran que la forma global de una palabra no cumple ningún papel en la lectura. Si podemos reconocer inmediatamente la identidad de “palabras”, “PALABRAS” y “PaLaBrAs”,

es porque nuestro sistema visual no presta atención a los contornos de las palabras o al patrón de letras ascendentes y descendentes: solamente está interesado en las letras que contienen. Obviamente, nuestra capacidad de reconocer palabras no depende de un análisis de su forma global.

Amplificar las diferencias

Aunque nuestro sistema visual filtra eficientemente las diferencias irrelevantes para la lectura, como la distinción entre “R” y “r”, sería un error pensar que siempre descarta información y simplifica formas. Al contrario, en muchos casos debe preservar e incluso amplificar los minúsculos detalles que distinguen dos palabras muy similares entre sí. Consideremos las palabras “cielo” y “cuelo”. Cuando las leemos, accedemos de forma inmediata a sus significados y pronunciaciones muy distintos, pero solamente cuando las miramos con más atención nos damos cuenta de que la diferencia sólo estriba en unos pocos píxeles. Nuestro sistema visual es exquisitamente sensible a la diferencia minúscula que existe entre “cielo” y “cuelo”, y la amplifica para mandar la información a regiones completamente distintas del espacio semántico. Al mismo tiempo, presta muy poca atención a otras diferencias mucho más notorias, como la distinción entre “cielo” y “CIELO”.

Como ocurre con la invariabilidad del tipo de letra, esta capacidad de prestar atención a detalles relevantes es el resultado de años de entrenamiento. El mismo lector que identifica inmediatamente la diferencia entre las letras “e” y “o” y la falta de diferencia entre “a” y “α” puede no darse cuenta de que las letras hebreas נ y ה son muy diferentes, un hecho que parece obvio para cualquier lector de hebreo.

Cada palabra es un árbol

Nuestro sistema visual se ocupa del problema del reconocimiento invariante de las palabras utilizando un procedimiento bien organizado. Como vamos a ver en detalle en el capítulo 2, el flujo de actividad neuronal que entra en el cerebro visual se va ordenando progresivamente en categorías significativas. Formas que parecen muy similares, como “cielo” y “cuelo” pasan por filtros cada vez más refinados que las separan paulatinamente y las unen a entradas distintas en un léxico mental, un

diccionario virtual de todas las palabras que hemos visto alguna vez. Por otro lado, las formas como “cielo” y “CIELO”, que están compuestas por rasgos visuales distintos, son inicialmente codificadas por neuronas distintas en el área visual primaria, pero son recodificadas luego de manera gradual hasta que se hacen virtualmente indistinguibles. Los detectores de rasgos reconocen la similitud de las letras “i” e “I”. Otros detectores de letras algo más abstractos clasifican “e” y “E” como dos formas de la misma letra. A pesar de las diferencias iniciales, el sistema visual del lector termina por codificar la esencia misma de las cadenas de letras “cielo” y “CIELO”, sin importar su forma exacta. Les da a estas dos cadenas la misma dirección mental, un código abstracto capaz de orientar al resto del cerebro acerca de la pronunciación y el significado de la palabra.

¿Cómo es esta dirección? De acuerdo con algunos modelos, el cerebro usa un tipo de lista desestructurada que simplemente provee la secuencia de letras C-I-E-L-O. En otros, necesita un código muy abstracto y convencional, similar a una cifra aleatoria de acuerdo con la cual, digamos, [1296] sería la palabra “cielo” y [3452] sería la palabra “cuelo”. La investigación contemporánea, sin embargo, sostiene otra hipótesis. Cada palabra escrita es codificada, probablemente, por un árbol jerárquico en el cual las letras se agrupan en unidades de mayor tamaño, que se agrupan a su vez en sílabas y palabras, de forma similar a como el cuerpo humano puede representarse como un conjunto de piernas, brazos, torso y cabeza, cada uno de ellos divisible a su vez en partes más simples.

Es posible encontrar un buen ejemplo de la descomposición mental de las palabras en unidades relevantes si diseccionamos la palabra “desabrochado”. Primero debemos quitar el prefijo “des-” y los sufijos familiares o las terminaciones gramaticales “-d-” y “-o”. El prefijo y los sufijos enmarcan el elemento central, la palabra que está dentro de la palabra: la raíz “abroch(a)-” (del verbo “abrochar”). Estos cuatro componentes se llaman “morfemas” (las unidades más pequeñas con significado). Cada palabra se caracteriza, en este nivel, por cómo se combinan sus morfemas. Dividir una palabra en sus morfemas nos permite incluso comprender palabras que nunca hemos visto antes, como “redesabrochado”, o “desrapuzaciado” (lo que sea que “rapuzaciarse” signifique, entendemos que se refiere al efecto de deshacer la acción de “rapuzaciarse”). En algunas lenguas, como el turco o el finlandés, se pueden ensamblar los morfemas en palabras muy grandes que transmiten tanta información como una oración completa en español. Tanto en esas lenguas como en la nuestra, la descomposición de una palabra en sus morfemas es un paso esencial en el camino que lleva de la vista al significado.

Muchos datos experimentales nos muestran que, muy rápido e incluso de forma directamente inconsciente, nuestro sistema visual segmenta los morfemas de las palabras. Por ejemplo, si yo pusiera la palabra “partida” en una pantalla de computadora, usted diría la palabra “partir” un poco más rápido cuando se le pusiera delante. La presentación de “partida” parece preactivar el morfema [part-], y facilitar, de este modo, su activación. Los psicólogos hablan de un efecto de *priming*; la lectura de una palabra ceba¹ nuestro cerebro para el reconocimiento de palabras que están relacionadas, del mismo modo en que uno ceba una bomba. Es lícito destacar que el fenómeno del *priming* no depende únicamente de la similitud visual: palabras que son muy diferentes en su aspecto pero que comparten un morfema, como “caber” y “quepo”, pueden tener este efecto la una sobre la otra, mientras que palabras que se parecen mucho pero que no guardan esta íntima relación morfológica, como “aspirar” y “aspirina”, no lo hacen. El *priming* tampoco requiere semejanza en el nivel del significado: palabras como “departir” y “departamento” pueden facilitarse la una a la otra a pesar de que sus significados no estén relacionados en términos generales (Rastle, Davis, Marslen-Wilson y Tyler, 2000; Longtin, Seguí y Hallé, 2003). Alcanzar el nivel de los morfemas parece ser tan importante para nuestro sistema de lectura que este intenta permanentemente adivinar la descomposición de las palabras. Nuestro aparato lector separa la palabra “salida” en [sal] + [ida] con la esperanza de que esto sea útil para los siguientes operadores que deben computar el significado.² No importa que esto no funcione siempre (una persona “alistada” no es alguien que está esperando una lista de supermercado, ni tampoco compartir un “departamento” implica que usted y su compañero “departan” todo el tiempo). Este tipo de errores de análisis tendrán que descubrirse en otras etapas del proceso de disección de las palabras.

1 La palabra “cebar” equivale al inglés “prime”. [N. de la T.]

2 La descomposición en morfemas parece ser un proceso muy sistemático, que puede aplicarse incluso a palabras como “reparar”, lo que puede llevarnos por mal camino [re-parar]. Sin embargo, no está claro si esto ocurre antes o después de que hayamos accedido al léxico mental de las palabras conocidas. El procesamiento de los morfemas es todavía tema de gran debate tanto en el plano empírico como en el teórico. Para más detalles, véanse, por ejemplo, Caramazza, Laudanna y Romani (1988), Taft (1994), Ferrand (2001: cap. 5).

Si continuamos desvistiendo la palabra “desabrochado”, la base en sí misma [la raíz *abroch-* y la vocal temática *-a-*] no es un todo indivisible. Está compuesta por tres sílabas, [a], [bro] y [cha], cada una de las cuales puede ser subdividida en consonantes y vocales individuales [a] [b] [r] [o] [ch] [a]. Aquí nos encontramos con otra unidad esencial de nuestro sistema de lectura: el grafema, una letra o una serie de letras que se proyecta en un fonema en la lengua en la que se está leyendo. Tengamos en cuenta que en nuestro ejemplo las dos letras “ch” se proyectan en un solo sonido, ³ De hecho, la proyección de los grafemas en fonemas no siempre es un proceso directo. En muchas lenguas, los grafemas pueden construirse con un grupo de letras. El inglés, por ejemplo, tiene una colección particularmente extensa de grafemas complejos como “ough”, “oi” y “au”.

Nuestro sistema visual ha aprendido a tratar estos grupos de letras como unidades confiables, hasta el punto en que ya no prestamos atención a las letras que contienen. Hagamos un pequeño experimento para probar este punto. Examine la siguiente lista de palabras y marque aquellas que contienen la letra “c”.

casa
cama
marco
choque
pecho
techo

¿Sintió que tenía que bajar la velocidad, aunque sea un poco, para las últimas tres palabras, “choque”, “pecho” y “techo”? Todas contienen la letra “c”, pero en las últimas tres palabras la “c” está incluida dentro de un grafema complejo que no se pronuncia como una “c”. Si nos confiáramos solamente de detectores de letras para descubrir la letra “c”, el análisis de una palabra en sus grafemas no tendría sentido. Sin embargo, la medición de tiempos de respuesta nos muestra claramente que nuestro cerebro no se detiene en el nivel de la letra independiente. Nuestro sistema visual reagrupa de forma automática las letras en grafemas de

3 Utilizaré comillas para referirme a la forma visual de las palabras y de las letras, e itálicas para referirme a su pronunciación. Entonces, la palabra “cama” se pronuncia *kama*.

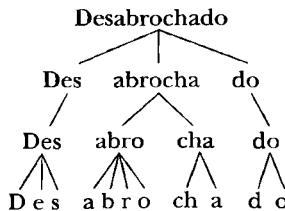
nivel más alto, lo que hace que sea más difícil para nosotros ver que los grupos de letras como “ch” de hecho contienen la letra “c” (Rey, Jacobs, Schmidt-Wiegand y Ziegler, 1998; Rey, Ziegler y Jacobs, 2000).

A su vez, los grafemas se agrupan automáticamente en sílabas. Acá hay otra demostración simple de esto. Usted va a ver palabras de cinco letras. Algunas letras están en **negrita**, otras en la fuente normal. Concéntrese solamente en la letra del medio, e intente decidir si está impresa en letra normal o en **negrita**:

- Lista 1: **MARCO** **CAPAZ** **PASTO** **PARED**
 Lista 2: **PEINE** **MANTA** **BOINA** **PEDAL**

¿Sintió que la primera lista era un poco más difícil que la primera? En la primera lista, los caracteres en **negrita** no respetaban los límites de la sílaba: en “**CAPAZ**”, por ejemplo, la letra “P” está impresa en **negrita** mientras que el resto de la sílaba a la que pertenece está en fuente normal. Nuestra mente intenta agrupar las letras que conforman una sílaba, lo que crea un conflicto con los caracteres en **negrita**, que nos hace responder de manera sensiblemente más lenta (Prinzmetal, Treiman y Rho, 1986; véase también Prinzmetal, 1990). Este efecto muestra que nuestro sistema visual no puede evitar repartir automáticamente las letras en los elementos que las componen, incluso cuando sería mejor no hacerlo.

La naturaleza de estos constituyentes todavía es un tema candente en la investigación. Parecería que pueden coexistir múltiples niveles de análisis: una sola letra en el nivel más bajo, luego un par de letras (o “bigrama”, una unidad muy importante a la que regresaremos luego), el grafema, la sílaba, el morfema, y por último la palabra completa. El punto final del procesamiento visual deja la palabra analizada en una estructura jerárquica, un árbol hecho de ramas de tamaños cada vez más grandes cuyas hojas son las letras.



Una vez que se la reduce a su esqueleto y se le quitan todos los rasgos irrelevantes, como fuente, tipo de letra y tamaño, la cadena de letras queda dividida en sus componentes básicos, que serán utilizados por el resto del cerebro para computar el sonido y el significado.

La voz silenciosa

Escribir, ese arte ingenioso de pintar las palabras
y el habla para los ojos.

Georges de Brébeuf (poeta francés, 1617-1661)

Cuando visitó a Ambrosio, entonces obispo de Milán, Agustín observó un fenómeno que pensó que era lo suficientemente extraño como para que lo anotara en sus memorias:

Cuando él leía [Ambrosio, obispo de Milán], recorrían las páginas los ojos y el corazón profundizaba el sentido, pero la voz y la lengua descansaban. Muchas veces, estando nosotros presentes –porque a nadie se le prohibía la entrada, ni había costumbre de anunciarle al visitante–, lo vimos leer así en silencio y jamás de otra manera.⁴

En la mitad del siglo VII, el teólogo Isidoro de Sevilla también se maravillaba de que las “letras tienen el poder de transmitirnos en silencio lo que dijeron los que están ausentes”. En esos tiempos, la costumbre era leer el latín en voz alta. Articular sonidos era una convención social, pero también una verdadera necesidad: cuando se enfrentaba a páginas en que las palabras estaban fusionadas una a la otra, sin espacios, en una lengua que no conocía bien, la mayoría de los lectores tenía que murmurar como los niños pequeños cuando leía. Por eso es que la lectura silenciosa de Ambrosio era tan sorprendente, incluso si para nosotros se ha vuelto una experiencia familiar: podemos leer sin articular sonidos.

Si nuestra mente va alguna vez directamente de la palabra escrita a su significado sin acceder a la pronunciación o si de manera inconsciente transforma las letras en sonidos y luego los sonidos en signifi-

⁴ Agustín, *Confesiones*, libro 6, capítulo 3. Las citas de Agustín e Isidoro de Sevilla fueron tomadas de Manguel (1997).

cado ha sido un tema de gran discusión. La organización de los caminos mentales de la lectura alimentó un debate que dividió a la comunidad psicológica por más de treinta años. Algunos pensaban que la transformación de las letras en sonidos era esencial; la lengua escrita, argumentaban, es simplemente un subproducto de la lengua hablada, por eso es que tenemos que encontrar el sonido de las palabras completas a través de una *ruta fonológica*, antes de poder recuperar su significado. Para otros, sin embargo, la recodificación fonológica era solamente un rasgo de principiante, característico de los lectores más jóvenes. En los lectores más expertos, la eficiencia lectora estaba basada en una *ruta léxica* que iba directamente de la cadena de letras a su significado.

Actualmente, se ha arribado a un consenso: en los adultos existen las dos rutas de lectura mencionadas, y ambas están activas simultáneamente. Todos tenemos acceso directo al significado de las palabras, lo que nos exime de pronunciar las palabras mentalmente antes de poder entenderlas. Sin embargo, incluso los lectores expertos continúan usando los sonidos de las palabras, aunque no lo noten. No es que articulemos las palabras de manera encubierta; no tenemos que mover los labios, ni siquiera preparar la intención de hacerlo. En un nivel más profundo, sin embargo, la información acerca de la pronunciación de las palabras se recupera automáticamente. La vía léxica y la fonológica operan en paralelo y se refuerzan mutuamente.

Hay pruebas abundantes de que accedemos automáticamente a los sonidos del habla cuando leemos. Imagínese, por ejemplo, que se le presenta una lista de cadenas y usted tiene que decidir si cada una es una palabra real del español o no. Eso sí, sólo tiene que decidir si las letras forman una palabra del español. Aquí vamos:

libro
cavello
getroplo
puerta
pakete
raseflo

Tal vez dudó cuando las letras sonaban como una palabra real, como en “cavello” o “pakete”. Este efecto de interferencia puede medirse fácilmente en términos de tiempos de respuesta e implica que cada cadena es convertida en una secuencia de sonidos que se evalúa como una palabra

real, incluso si el proceso va en contra de la tarea que se ha solicitado hacer (Rubenstein, Lewis y Rubenstein, 1971; Coltheart y otros, 1977; Seidenberg y otros, 1996; Ferrand, 2001: cap. 4).

La conversión mental en sonido tiene un papel esencial cuando leemos una palabra por primera vez, digamos, la cadena “Kaláshnikov”. Al principio, es imposible que podamos acceder a su significado directamente, ya que nunca la vimos antes. Todo lo que podemos hacer es convertirla en sonidos, notar que los sonidos son inteligibles y, a través de esta ruta indirecta, llegar a entender la palabra nueva. Entonces, acceder al sonido es muchas veces la única solución cuando nos encontramos con una palabra desconocida. También es indispensable cuando leemos palabras mal escritas. Veamos el cuento poco conocido de Edgar Allan Poe que se llama “El ángel de lo singular”. En él, un extraño personaje se mete misteriosamente en el departamento del narrador, “un personaje insulso, aunque no del todo indescriptible”, y con un acento alemán tan denso como la niebla inglesa:

–¿Quién es usted, si puede saberse? –pregunté con mucha dignidad, aunque un tanto perplejo–. ¿Cómo ha entrado en mi casa? ¿Y qué significan sus palabras?

–Cómo he entrado aquí no es asunto suyo –replicó la figura–; en cuanto a mis palabras, yo hablo de lo que me da la gana; y he fenido aquí brechisamente para que sepa quién soy... ¡Míreme! ¡Fea! Yo soy el Ángel de lo Singular.

–¡Vaya si es singular! –me aventuré a replicar–. Pero siempre he vivido bajo la impresión de que un ángel tenía alas.

–¡Alas! –gritó, furibundo–. ¿Y bara qué quiero las alas? ¿Me doma usted por un bollo?

Cuando leemos este fragmento volvemos a un estilo que hace mucho hemos olvidado, uno que viene de nuestra niñez: la ruta fonológica, o la transformación lenta de cadenas de letras totalmente nuevas en sonidos que milagrosamente se vuelven inteligibles, como si alguien nos las estuviera susurrando.

¿Qué ocurre, sin embargo, con las palabras de todos los días, con las que ya nos hemos encontrado mil veces? No tenemos la impresión de decodificarlas lentamente a través de la articulación mental. Sin embargo, algunas ingeniosas pruebas psicológicas muestran que aun en estos casos activamos su pronunciación en un nivel no consciente. Por ejemplo, suponga que se le pide que indique cuáles de las siguientes palabras

hacen referencia a calzado. Todos estos son términos muy familiares, así que debería poder concentrarse en su significado e ignorar su pronunciación. Pruebe:

sandalia
pesca
mocasín
avión
borcegui
vota

Tal vez se sintió urgido de responder a la palabra “vota”, que suena como un tipo de calzado. Los experimentos muestran que bajamos nuestra velocidad y cometemos errores en las palabras que suenan como un ítem de la categoría-blanco (Van Orden, Johnston y Hale, 1988; Jared y Seidenberg, 1991). No está claro cómo podríamos reconocer esta homofonía si no recuperáramos mentalmente en primer lugar la pronunciación de la palabra. Sólo una conversión interna a los sonidos del habla puede explicar este tipo de error. Nuestro cerebro no puede evitar transformar las letras “v-o-t-a” en habla interna y asociarla luego con un significado (un proceso que puede ser inconveniente en los pocos casos en que la cadena suena igual que otra palabra muy conocida).

Por supuesto, este imperfecto diseño es también el que nos garantiza uno de los grandes placeres de la vida: los juegos de palabras o “la alegría del texto”, como los llama el humorista Richard Lederer. Sin el regalo de la conversión de letras en sonidos, no podríamos disfrutar de la ocurrencia de Mae West (“She’s the kind of girl who climbed the ladder of success wrong by wrong” [es la clase de chica que escaló la ladera del éxito error por error / escalón por escalón] o de la broma del cuñado de Conan Doyle (“there’s no police like Holmes” [no hay policía como Holmes / no hay lugar como el hogar]).⁵ Sin la “voz silenciosa” de la que habla Agustín, el placer de los arriesgados dobles sentidos nos estaría negado:

⁵ Estos juegos de palabras se sostienen en la similitud fonética entre *wrong* y *rung* en el primer ejemplo, y entre *police* y *place*, y *Holmes* y *home* en el segundo. [N. de la T.]

Un admirador le dice al presidente Lincoln: "Permitame presentarle a mi familia. Mi esposa, Ana Turva. Mi hija, Sofía Turva. Mi hijo, Tomás Turva".

"¡Oh, Dios!", respondió el presidente.⁶

Otras pruebas de que nuestro cerebro accede automáticamente a los patrones de sonido de una palabra vienen del *priming* subliminal. Supongamos que le presento por un período muy breve la palabra "RALLA", seguida inmediatamente de la palabra "malla", y le pido que lea la segunda palabra tan velozmente como pueda. Las palabras se le presentan en diferentes tipos de letra para evitar cualquier similitud visual de nivel bajo. Sin embargo, cuando la primera palabra suena y se escribe casi o del todo igual que la segunda, como en este ejemplo, observaremos una aceleración consistente del tiempo de lectura, comparada con una situación en la cual las dos palabras no están especialmente relacionadas ("PORO" seguida de "malla"). Parte de esta facilitación se debe, por supuesto, a semejanzas simplemente a nivel de la escritura. La presentación de "CUELO" facilita el reconocimiento de "cielo" a pesar de que las dos cadenas de sonidos suenan muy diferente. Sin embargo, significativamente, se puede encontrar aún mayor facilitación cuando dos palabras comparten la misma pronunciación ("CIEGO" seguida de "cielo"), y este *priming* basado en el sonido funciona incluso cuando la forma de escribir dos palabras es completamente diferente ("SIENTO" seguida por "cielo"). Entonces, la pronunciación parece extraerse automáticamente. Como uno podría esperar, sin embargo, la escritura y el sonido no se codifican al mismo tiempo. Luego de apenas veinte o treinta milisegundos de ver una palabra, nuestro cerebro activa automáticamente su forma escrita, pero hacen falta cuarenta milisegundos adicionales para transformarla en sonido, como lo revela la aparición de *priming* basado en sonido (Perfetti y Bell, 1991; Ferrand y Grainger, 1992, 1993, 1994; Lukatela, Frost y Turvey, 1998).

Los experimentos más simples, entonces, nos permiten esbozar una corriente completa de etapas sucesivas en el cerebro del lector, desde las marcas en la retina hasta su conversión en letras y sonidos. Cualquier lector experto transforma rápidamente cadenas en sonidos del habla sin esfuerzo y de forma inconsciente.

⁶ Debo esta broma y otros muchos juegos de palabras a Hammond y Hughes (1978).

Los límites del sonido

El acceso encubierto a la pronunciación de las palabras escritas es un paso automático en la lectura, pero esta conversión puede no ser indispensable. La conversión de letras en sonidos suele ser lenta e ineficiente. Nuestro cerebro, entonces, intenta en general recuperar el significado de una palabra utilizando una ruta paralela y más directa que lleva directamente de la cadena de letras a la entrada asociada en el léxico mental.

Para apoyar nuestra intuición acerca de la ruta léxica directa, tenemos que pensar en el aprieto en que se encontraría un lector hipotético que sólo fuera capaz de articular mentalmente las palabras escritas. Sería imposible para él diferenciar entre las palabras homófonas como “cavo” y “cabo”, “haya” y “aya”, “hato” y “ato” o “vacilo” y “bacilo”. Si se basara en el sonido, podría pensar que podemos coser un guiso, y que las tazas de interés son demasiado altas. El mero hecho de que discernamos inmediatamente los múltiples significados que tienen estas palabras homófonas demuestra que no estamos obligados a pronunciarlas: hay otra ruta disponible que le permite a nuestro cerebro resolver cualquier ambigüedad y dirigirse directamente al significado.

Existe otro problema para las teorías de la lectura basadas puramente en el sonido: la ruta de la escritura al sonido no es una autopista de alta velocidad libre de obstáculos. En algunas lenguas, derivar la pronunciación de una palabra de la secuencia de sus letras suele ser imposible si no tenemos ayuda adicional. Consideremos la palabra inglesa “blood”. Si conocemos la lengua, nos parece obvio que debe pronunciarse *blud* y que rima con “bud” o “mud”. Pero, ¿cómo sabemos esto? ¿Por qué “blood” no habría de rimar con “food” o “good”? ¿Por qué no suena como “bloom” o “bloomer”? Incluso la misma raíz inglesa puede pronunciarse de diferentes formas, como en “sign” y “signature”. Algunas palabras son tan excepcionales que es difícil ver cómo se vincula su pronunciación con las letras que las componen (“colonel”, “yatch”, “though...”). En casos como estos, la pronunciación de las palabras no puede computarse si no conocemos la palabra con anticipación.

La ortografía inglesa está llena de irregularidades. De hecho, la brecha entre la lengua escrita y la lengua hablada tiene siglos de antigüedad, como muestra William Shakespeare en *Trabajos de amor perdidos*, cuando el pedante Holofernes dice:

Detesto a esos fanáticos caprichosos, a esos tipos insociables y de extraordinaria precisión; a esos verdugos de la ortografía, que pronuncian a pedacitos, por ejemplo, *dout* en lugar de *doubt*; *det*, en vez de *debt*, d, e, b, t, y no d, e, t; que por *calf* dicen *cauf*, por *half*, *hauf*; que a *neighbour* “vocatur” *nebour*, y que abrevian *neigh* en *ne*. Es “abhorrible” (ellos articularían *abominable*).

¡Esto me vuelve loco!

El inglés es una lengua horriblemente irregular. George Bernard Shaw señaló que la palabra “fish” podría escribirse *ghoti*: *gh* como en “enough”, *o* como en “women”, y *ti* como en “lotion”! Shaw odiaba tanto las irregularidades de la escritura del inglés que en su testamento dejó dinero para financiar una competencia para diseñar un nuevo alfabeto completamente racional llamado “Shavian”. Por desgracia, nunca tuvo mucho éxito, probablemente porque se alejaba demasiado del resto de los sistemas de escritura (Coulmas, 1989: 251).

Por supuesto, el ejemplo de Shaw es tirado de los pelos: nadie leería nunca *ghoti* como “fish” porque la letra “g”, cuando está al principio de una palabra, siempre se pronuncia como una *g* fuerte o como una *j*, nunca como una *f*. Del mismo modo, a pesar de Shakespeare, en el inglés actual las letras “alf” al final de una palabra siempre se pronuncian *af*, como en “calf” y “half”. Si las letras se toman en contexto, a menudo es posible identificar algunas regularidades de orden más alto que simplifican la proyección de letras en sonidos. Incluso así, sin embargo, continúan existiendo numerosos ejemplos (“has” y “was”, “tough” y “dough”, “flour” y “tour”, “header” y “reader”, “choir” y “chair”, “friend” y “fiend”). Para la mayoría de las palabras irregulares, la recuperación de la pronunciación, lejos de ser la fuente de la comprensión de las palabras, parece depender de su resultado: solamente luego de que reconocemos la identidad de la palabra “dough” podemos recuperar su patrón de sonidos.

La lógica oculta de algunos sistemas de escritura

Uno podría preguntarse por qué una lengua como el inglés continúa teniendo un sistema de escritura tan complicado. De hecho, los italianos no se encuentran con los mismos problemas. Su escritura es transparente: cada letra se proyecta en un fonema independiente, y prácticamente

no existen excepciones.⁷ Como resultado, toma sólo unos pocos meses aprender a leer. Esto les da una gran ventaja a los italianos: las habilidades de lectura de sus niños superan las de sus pares británicos por muchos años, y no necesitan pasar horas de escuela cada semana escribiendo dictados y deletreando las palabras en voz alta. Más aún, como discutiremos más adelante, la dislexia es un problema mucho menos serio para ellos. Tal vez deberíamos seguir el modelo de Italia, quemar todos los diccionarios de inglés y diseñar un nuevo sistema de escritura que asta un niño de tres años pudiera leer fácilmente.⁸

No hay duda de que el sistema de escritura del inglés podría simplificarse. El peso de la historia explica muchas de sus peculiaridades: los alumnos de hoy deberían lamentar que los ingleses hayan perdido la batalla de Hastings, porque la mezcla de francés e inglés que le siguió es responsable de muchos de los dolores de cabeza que la escritura les ha provocado a sus hablantes, como el uso de la letra “c” para el sonido *s* (como en “cinder”). Siglos de conservadurismo académico, a veces rayano en la pedantería, han congelado su diccionario. Muchos académicos bienintencionados fueron responsables de absurdos de la ortografía, como la “s” en la palabra “island”, un intento desorientado del Renacimiento para restaurar la etimología del vocablo latino *insula*. Lo peor de todo es que, a pesar de la natural deriva de la lengua oral, la ortografía del inglés no evolucionó. La llegada de palabras extranjeras y los cambios espontáneos en la articulación del inglés han creado una inmensa brecha entre la forma en que se escribe y la forma en que se habla, lo que causa años de sufrimiento innecesario para los niños angloparlantes. En resumen, la razón pide una simplificación radical de la ortografía del inglés.

Sin embargo, antes de que pueda hacerse ninguna revisión, es esencial comprender en su totalidad la lógica oculta del sistema de escritura del inglés. Las irregularidades ortográficas no son solamente una convención. También se originan en la estructura misma de la lengua y de nuestros cerebros. Las dos rutas de la lectura, ya sea de la ortografía al sonido o de la ortografía al significado, plantean restricciones complejas e incluso irreconciliables a cualquier sistema de escritura. Las diferencias

7 El español es, para la lectura, una lengua transparente en términos generales, comparable al italiano. [N. de la T.]

8 “Desine a noo spelling sistem dat evenen a Øree-yia-old tchalid cood eezilee reed” en el original. [N de la T.]

lingüísticas entre el inglés, el italiano, el francés y el chino son tales que no hay ninguna solución ortográfica de la que podamos sostener que funcionaría para todos. Así, la abominable irregularidad de la ortografía del inglés parece inevitable. Aunque la reforma es desesperadamente necesaria, tendrá que luchar con muchas restricciones.

Ante todo, no está claro que la ortografía del inglés, como el italiano, pueda atribuir una sola letra a cada sonido, y un sonido fijo a cada letra. No sería algo simple de hacer, porque la lengua inglesa contiene muchos más sonidos del habla que el italiano. El número de fonemas del inglés va de cuarenta a cuarenta y cinco, dependiendo de los hablantes y de los métodos para contar, mientras que el italiano tiene solamente treinta. Las vocales y los diptongos son particularmente abundantes en el inglés: hay seis vocales simples (como en bat, bet, bit, but, good y pot), pero también cinco vocales largas (como en beef, boot, bird, bard y boat) y por lo menos siete diptongos (como en bay, boy, toe, buy, cow, beer, bear). Si a cada uno de estos sonidos se le garantizara su propio símbolo escrito, tendríamos que inventar nuevas letras, lo que agregaría una carga adicional para los niños. Consideraríamos agregar marcas a las letras que ya existen, como *ã*, *õ* o *ũ*. Sin embargo, es totalmente utópico imaginar un alfabeto universal que pudiera transcribir todas las lenguas del mundo. Un sistema de escritura de este tipo existe: es el Alfabeto Fonético Internacional y tiene un papel importante en las publicaciones técnicas de fonólogos y lingüistas. Sin embargo, este sistema de escritura es tan complejo que no sería efectivo para la vida de todos los días. El Alfabeto Fonético Internacional tiene 170 signos, algunos de los cuales son particularmente complejos (*œ*, *ø*, *ɔ̃*, *ɕ*, *ʒ* o *ʃ*). Incluso los especialistas encuentran muy difícil leerlo con fluidez sin ayuda de un diccionario.

Para evitar aprender un número excesivo de formas de símbolos, las lenguas con muchos fonemas, como el inglés o el francés, recurren a una solución de compromiso. Indican el sonido de una vocal o de una consonante mediante caracteres especiales como “ü” o grupos de letras como “oo” u “oy”. Estas peculiaridades, que son únicas para cualquier lengua dada, están lejos de ser ornamentos gratuitos: tienen un papel esencial en la “economía mental” de la lectura, y tienen que encontrar su lugar en cualquier tipo de reforma de la escritura.

Aunque no podemos asignar fácilmente una única forma de letra a cada sonido del habla, podríamos, tal vez, intentar hacer lo contrario. Muchos errores de escritura podrían evitarse si transcribiéramos sistemáticamente cada sonido con una letra fija. Por ejemplo, si evitáramos escribir el sonido *f* tanto con la letra “f” como con “ph”, la vida sería mu-

cho más simple. No hay duda de que podríamos liberarnos fácilmente de esta y muchas otras redundancias inútiles cuya adquisición se come muchos años de la niñez. De hecho, esta es la tímida dirección que tuvo la reforma estadounidense de la ortografía cuando simplificó las ortografías irregulares del inglés británico de palabras como “behaviour” o “analyse” a “behavior” y “analyze”. Se podrían haber dado muchos más pasos en esta misma dirección. Como lectores expertos, dejamos de percibir lo absurda que es la ortografía del inglés. Incluso una letra tan simple como “x” es innecesaria, ya que suena como los dos fonemas *ks* que ya tienen su propia forma de escritura. En Turquía, uno toma un “taksi”. Ese país, que en el lapso de un año (1928-1929) adoptó el alfabeto latino, simplificó drásticamente su ortografía y les enseñó a tres millones de personas cómo leer, es un muy buen ejemplo de la factibilidad de una reforma de la ortografía.

Sin embargo, también en este punto es necesario tener mucho cuidado. Sospecho que cualquier reforma radical cuyo objetivo fuera asegurar una transcripción clara, uno a uno, del habla inglesa estaría condenada al fracaso, porque el rol de la escritura no es solamente proveer una transcripción fidedigna de los sonidos del habla. Voltaire estaba equivocado cuando proclamó, de forma elegante pero errónea, que “la escritura es la pintura de la voz: cuanto más se parece, mejor”. Un texto escrito no es una grabación de alta fidelidad. Su objetivo no es reproducir el habla como la pronunciamos, sino codificarla en un nivel lo suficientemente abstracto para permitirle al lector recuperar rápidamente su significado.

En beneficio del argumento, podemos intentar imaginarnos cómo sería un sistema de escritura puramente fonético (uno que Voltaire podría haber considerado ideal). Cuando hablamos, alteramos la pronunciación de las palabras en función de los sonidos que las rodean. Sería un desastre si la ortografía debiera reflejar el obtuso fenómeno lingüístico de las llamadas coarticulación, asimilación y resilabificación, de las cuales la mayoría de los hablantes no son conscientes. De acuerdo con el contexto, podríamos tener la misma palabra escrita de diferentes formas. ¿Deberíamos, por ejemplo, usar marcas diferentes para las distintas pronunciaciones de los plurales? Deberíamos escribir “cap driver” con el pretexto de que el sonido *b*, cuando está seguido por una *d*, tiende a ser pronunciado como una *p*? En otro extremo, ¿deberíamos tener en cuenta el acento del hablante (“¿Me doma usted por un bollo?”). Esto sería *absurdo* (sí, en inglés pronunciamos esta palabra con un sonido *p*). La meta principal de la escritura es transmitir el significado tan efecti-

vamente como sea posible. Cualquier transcripción servil de los sonidos nos alejaría de este objetivo.

La ortografía del inglés a menudo privilegia la transparencia de las raíces de las palabras a expensas de la regularidad de los sonidos. Las palabras inglesas “insane” e “insanity”, por ejemplo, están tan relacionadas con su significado que sería tonto escribirlas de forma diferente porque su pronunciación es un poco diferente. De manera similar, es lógico mantener la *n* silenciosa al final de “column”, “autumn” o “condemn” dado que estas palabras son la base de “columnist”, “autumnal” o “condemnation”.

La transcripción del significado también explica, al menos en parte, por qué el inglés escribe los mismos sonidos de muchas maneras diferentes. Las palabras del inglés tienden a ser compactas y monosilábicas, y, como resultado, la homofonía es muy frecuente (por ejemplo, “eye” y “I”, “you” y “ewe”). Si estas palabras se transcribieran por fonética, no se podrían distinguir entre sí. Las convenciones de la escritura han evolucionado con este límite en mente. Que los mismos sonidos se escriban de dos formas distintas complica más el dictado, pero simplifica la tarea del lector, que puede comprender rápidamente el significado que el autor quiso transmitir. Los estudiantes que se quejan de las incontables formas de escribir el sonido *u* como en “two”, “too”, “to”, o “stew” deberían comprender que estos adornos son esenciales para la velocidad a la que los angloparlantes leen. Sin ellos, cualquier texto escrito se volvería un jeroglífico opaco. Gracias a las convenciones de la escritura, el inglés escrito indica directamente el significado. Cualquier reforma de la ortografía debería mantener este sutil equilibrio entre el sonido y el significado, porque este refleja un fenómeno mucho más profundo y más rígido: las dos rutas de lectura de nuestro cerebro.

El sueño imposible de la ortografía transparente

La rivalidad entre leer para encontrar el sonido y leer para encontrar el significado existe en todo el mundo. Todos los sistemas de escritura deben ingeniárselas para hacerle frente a este problema. Qué correlación es la mejor depende de la lengua que debe transcribirse. La vida sería seguramente más fácil si la ortografía del inglés fuera tan fácil de aprender como la del italiano o la del alemán. Estas lenguas, sin embargo, se benefician de una serie de características que facilitan su transcripción alfabética. En italiano, como en alemán, las palabras tienden a ser lar-

gas, y muchas veces están formadas por muchas sílabas. La concordancia gramatical está bien marcada por vocales sonoras. Como resultado, los homónimos son bastante escasos. Entonces, es posible una transcripción puramente regular de los sonidos. El italiano y el alemán pueden permitirse un sistema de escritura bastante transparente, en el que casi cada letra se corresponde con un único sonido.

En la otra punta del *continuum* está el caso del chino mandarín. La gran mayoría de las palabras chinas consiste solamente en una o dos sílabas, y como hay solamente 1239 sílabas (410 si se descuentan los cambios tonales), cada una puede referirse a docenas de conceptos diferentes (figura 1.3). De este modo, un sistema de escritura puramente fonético sería inútil en chino: ¡cada uno de los pictogramas podría entenderse de cien formas distintas! Esta es la razón por la que los millares de caracteres de la escritura del mandarín transcriben en su mayoría palabras, o, mejor dicho, sus morfemas (los elementos básicos del significado de las palabras). La escritura del chino también depende de varios cientos de marcadores fonéticos que especifican además cómo debe pronunciarse determinada raíz y facilitan que el lector se dé cuenta de cuál es la palabra a la que se intenta hacer referencia. El carácter 媽, por ejemplo, que significa “madre” y se pronuncia *ma*, consiste en el morfema 女 = mujer, con el marcador fonético 馬 = *mǎ*. Así, al contrario de lo que comúnmente se cree, ni siquiera el chino tiene una forma de escritura puramente ideográfica (cuyos símbolos representan conceptos), ni una forma logográfica (cuyos signos se refieren a palabras individuales), sino un sistema “morfosilábico” mixto, en el cual algunos signos se refieren a los morfemas de las palabras y otros a su pronunciación (Coulmas, 1989).

Por supuesto, es más difícil aprender a leer chino que italiano. Hay que conocer muchos miles de signos en lugar de solamente algunas docenas. Estas dos lenguas, entonces, están en los dos extremos de una escala continua de transparencia ortográfica, en la que el inglés y el francés ocupan posiciones intermedias (Wydell y Butterworth, 1999). Tanto en inglés como en francés, las palabras tienden a ser cortas, y los homófonos son, entonces, relativamente frecuentes (“right”, “write”, “rite” suenan muy parecido, es decir que son homófonos en inglés). Para acomodarse a estas restricciones, las reglas ortográficas del inglés y del francés incluyen una combinación de transcripción fonética y léxica, lo que es una fuente de dificultad para quien escribe, pero hace más simple la lectura.

石室詩士食獅史

石室詩士施氏，嗜獅，誓食十獅。氏時時適市視獅十時，適十獅適市，是時，適施氏適市。氏視是十獅，恃失勢，使是十獅逝世。氏拾是十獅屍，市石室。石室濕，氏使侍拭石室。石室試，氏始試食是十獅屍。食時始識是十獅屍實十石獅屍。試釋是事。

*El cuento de un poeta que comía leones
en un cuarto de piedra*

Un poeta que se llamaba Shi vivía en un cuarto de piedra, y tenía el hábito de comer leones. Había jurado comer por lo menos diez. Entonces, a veces, visitaba el mercado de leones alrededor de las diez. Por suerte, había diez de ellos en el mercado un día en que Shi estaba presente. Cuando vio esos diez leones, Shi los mató por miedo a perderlos. Entonces, tomó sus cadáveres y los almacenó en su despensa. Como el cuarto estaba sucio, Shi le pidió a un sirviente que lo limpiara. Luego, Shi comenzó a degustar aquellos diez cadáveres de leones y, mientras los comía, se dio cuenta de que aquellos eran, de hecho, diez leones. ¡Intente explicarlo!

	Shi, primer tono		Shi, cuarto tono
詩	poeta, poema	室	cuarto
獅	león	士	persona
施	nombre, aplicar	嗜	tener el hábito de
失	perder	(施)氏	demostrativo
屍	cadáver	誓	jurar, prometer
濕	sucio	適	llegar, adaptar, adecuado
識	saber, sabiduría	是	sí, este
	Shi, segundo tono	視	mirar, ver
石	pedra	恃	aprehender, depender
食	comer	勢	situación, poder
十	diez	逝	dejar, pasar
時	hora	世	mundo
拾	levantar	市	mercado
實	verdad, realidad	拭	limpiar
	Shi, tercer tono	試	intentar
史	cuento	釋	explicar
使	ordenar, enviar	事	cosa
始	comenzar		

Figura 1.3. Las irregularidades ortográficas no son tan irracionales como parecen. Por ejemplo, a pesar de que la escritura china utiliza hasta veinte o treinta caracteres diferentes para la misma sílaba, la redundancia no es para nada inútil. Al contrario, ayuda mucho a los lectores chinos, porque la lengua china incluye una gran cantidad de homófonos (palabras que suenan parecido pero tienen significados diferentes, como las palabras españolas “cavo” y “cabo”). ¡Aquí, se escribió un cuento chino completo con el sonido “shi”! Cualquier lector chino puede entender este texto, que claramente sería imposible si hubiera sido transcrito fonéticamente como “shi shi shi...”. Los caracteres chinos desambiguan los sonidos al utilizar caracteres distintos para significados distintos. De forma similar, la homofonía explica por qué el inglés conserva tantas ortografías diferentes para los mismos sonidos (“I scream for ice cream”).

Para resumir, apenas hemos comenzado a descifrar las muchas restricciones que le dan forma al sistema ortográfico del inglés. ¿Alguna vez seremos capaces de reformarlo? Mi punto de vista personal sobre esto es que una simplificación drástica es inevitable. La debemos a los niños angloparlantes, que pierden cientos de horas con este juego cruel. Más aún, es posible que algunos de ellos nunca se recuperen, obstaculizados a perpetuidad por la dislexia o simplemente porque fueron criados en familias de bajos recursos o multilingües. Estas son las víctimas reales del arcaico sistema ortográfico. Mi esperanza es que la próxima generación ya se habrá acostumbrado tanto a la escritura abreviada, gracias a los celulares y a internet, que va a dejar de tratar este tema como un tabú y se armará de valor para abordarlo racionalmente. Sin embargo, el problema nunca se resolverá con un simple decreto que instaure la ortografía fonológica. El inglés nunca será tan simple como el italiano. El sueño de la ortografía regular es de algún modo una ilusión, como se señaló en un panfleto que circuló por Europa durante algún tiempo:

The European Union commissioners have announced that agreement has been reached to adopt English as the preferred language for European communications, rather than German, which was the other possibility. As part of the negotiations, the British government conceded that English spelling had some room for improvement and has accepted a five-year phase plan for what will be known as Euro English (Euro for short).

In the first year, "s" will be used instead of the soft "c". Certainly, sivil servants will resieve this news with joy. Also, the hard "c" will be replaced with "k". Not only will this klear up konfusion, but typewriters kan have one less letter. There will be growing publik enthusiasm in the sekond year, when the troublesome "ph" will be replaced by "f". This will make words like "fotograf" 20 per sent shorter.

In the third year, publik akseptanse of the new spelling kan be expekted to reach the stage where more komplikated changes are possible. Governments will enkorage the removal of double letters, which have always ben a deterrent to akurate speling. Also, al wil agre that the horrible mes of silent "e"s in the languag is disgrasful, and they would go.

By the fourth year, peopl wil be reseptiv to steps such as replasing "th" by "z" and "w" by "v". During ze fifz year, ze unesesary "o" kan be dropd from vords kontaining "ou", and similar changes vud of kors be aplid to ozer kombinations of leters.

After zis fifz yer, v evil hav a reli sensibl riten styl. Zer vil be no mor
trubls or diffikultis and evrivun vil find it ezi tu understand ech ozer.
Ze drem vil finali kum tru!⁹

Dos rutas para la lectura

Antes de continuar, me gustaría sintetizar lo que se ha tratado hasta aquí. Todos los sistemas de escritura oscilan entre una representación precisa del sonido y la transmisión rápida del significado. Este dilema está reflejado directamente en el cerebro del lector. Mientras leemos, dos caminos de procesamiento de la información coexisten y se complementan. Cuando las palabras son muy regulares, inusuales o novedosas, las procesamos preferentemente utilizando una “ruta fonológica”, en la que primero desciframos la cadena de letras, luego la convertimos en pronunciación y finalmente intentamos acceder al significado del patrón de sonidos (si es que lo tiene). A la inversa, cuando nos enfrentamos a palabras frecuentes o cuya pronunciación es excepcional, nuestra lectura toma una ruta directa que primero recupera la identidad y el significado de la palabra y luego usa la información léxica para recuperar su pronunciación (figura 1.4).

El mejor sustento para postular la existencia de estos dos caminos viene del estudio de las lesiones cerebrales y sus consecuencias psicológicas. Algunos pacientes, luego de un ataque o de una lesión cerebral, pierden la habilidad de computar rápidamente la pronunciación de las palabras escritas (Marshall y Newcombe, 1973; Shallice, 1988; McCarthy y Warrington, 1990; Coltheart y Coltheart, 1997). Es evidente que su ruta de conversión de escritura en sonidos se ha dañado severamente. Aunque antes de la lesión leían de forma normal, su lectura ahora presenta todas las características de un síndrome que se llama “dislexia profunda” o “dislexia fonológica”. Ya no logran leer palabras infrecuentes como “sextante” en voz alta, incluso cuando su ortografía es muy regular. Más aún, no saben qué hacer cuando se los hace leer neologismos

⁹ Esta reducción al absurdo de lo que sería una reforma ortográfica del inglés es intraducible al español, pero resulta elocuente y funcional en la argumentación, por cuanto demuestra que, por más esfuerzos que se hagan, el inglés nunca podría tener una escritura fonológica, a diferencia del italiano o el español. [N. de la T.]

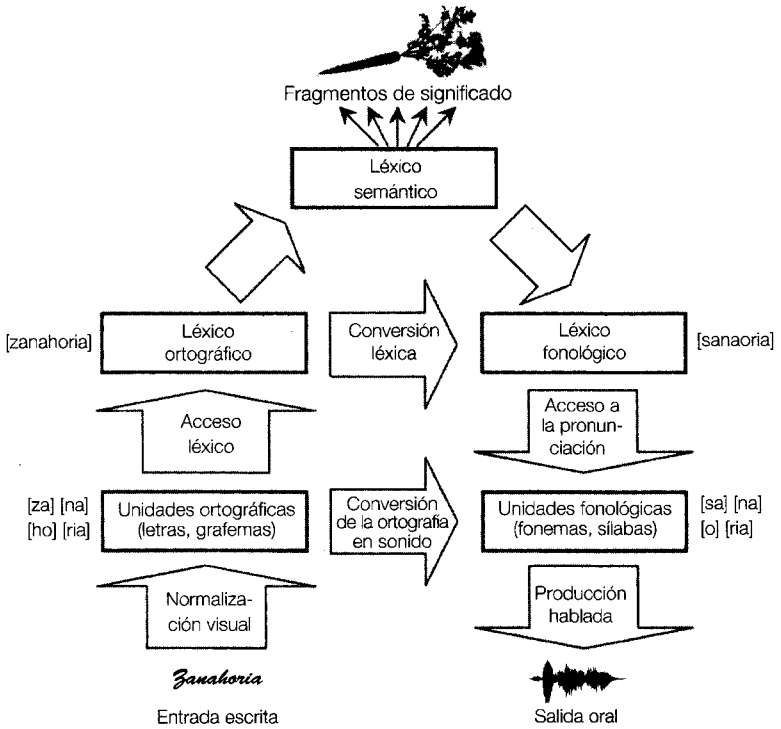


Figura 1.4. La lectura de las palabras recorre varias rutas de procesamiento en paralelo. Para ir de la palabra escrita (abajo a la izquierda) a su pronunciación (abajo a la derecha), nuestro cerebro depende de varios caminos, que están indicados aquí con cajas y flechas. Cuando la palabra es regular, una ruta superficial directamente convierte sus letras en sonidos del habla. Cuando la palabra es irregular, como en "boutique", se encuentran involucradas representaciones más profundas. Se pueden comparar con léxicos mentales que unen la forma de las palabras al significado.

o palabras inventadas como “departición” o “calbonter”. Es sorprendente, sin embargo, que todavía sean capaces de comprender palabras que se usan frecuentemente y por lo general pueden leer en voz alta incluso palabras irregulares pero comunes como “jean”, “boutique” o “gourmet”. Ocasionalmente, se confunden una palabra con otra. Un disléxico profundo, por ejemplo, puede leer la palabra escrita “jamón” como *carne* o la palabra “pintor” como *artista*. La naturaleza misma de estos errores demuestra que el acceso al significado de la palabra está en gran medida preservado. Si el paciente no hubiera entendido, al menos parcialmente, la palabra que intentaba leer, no habría sido capaz de acercarse al significado correcto. Los pacientes con dislexia profunda parecen reconocer las palabras escritas aunque el cómputo de su pronunciación se haya vuelto prácticamente imposible. Es como si una de las rutas de lectura (de la vista al sonido) estuviera bloqueada, mientras que la información circulara por la otra ruta (de la vista al significado).

La situación opuesta también ha sido registrada. Aquí, los pacientes que sufren de otro síndrome, llamado dislexia de superficie, ya no tienen acceso directo al significado de las palabras, y por lo tanto tienen que hacer lentamente su camino a lo largo del texto y producir los sonidos de las palabras. En esta situación, los límites de la “voz silenciosa” son obvios. Los pacientes que presentan dislexia de superficie todavía pueden leer palabras regulares como “banana” o incluso neologismos como “chicopar”, pero de ningún modo pueden procesar las palabras irregulares. Típicamente las estandarizan a través de una conversión ciega en sonidos. Un paciente, por ejemplo, leyó “scout” según la pronunciación regular de cada grafema en español y luego juró nunca haber oído esa palabra tan extraña.¹⁰ Evidentemente, la ruta directa de la vista al léxico mental estaba bloqueada, mientras que la conversión de letras a sonidos todavía estaba funcionando.

El contraste entre estos dos tipos de pacientes prueba que hay dos rutas bien distintas para la lectura, pero también muestra que ninguna de ellas, individualmente, nos permite leer todas las palabras. La ruta directa, de las letras a las palabras y a su significado, puede utilizarse para leer la mayoría de las palabras, en tanto sean lo suficientemente frecuentes, pero no funciona para las palabras raras o nuevas que no están

¹⁰ Este tipo de ejemplos es mucho más claro en inglés, cuya ortografía, a diferencia de la del español, es irregular. El ejemplo original del texto es “enough”, que el paciente leyó como *inog*. [N. de la T.]

almacenadas en nuestro léxico mental. A la inversa, la ruta indirecta, de las letras a los sonidos y de los sonidos a los significados, falla con las palabras irregulares como "scout" y con homófonos como "vaya", pero tiene un rol irremplazable cuando aprendemos una nueva palabra. Cuando leemos, ambas rutas están en colaboración constante y cada una de ellas contribuye a la especificación de la pronunciación de las palabras. La mayoría de los fonemas del mundo puede deducirse de una cadena de letras mediante la aplicación de simples reglas de conversión de las letras en sonidos, mientras que las ambigüedades ocasionales se resuelven con un pequeño empujón de los niveles léxico y semántico. En los niños, las dos rutas muchas veces tienen una coordinación pobre. Algunos dependen en gran parte de la ruta directa. Intentan adivinar las palabras y muchas veces eligen una palabra relacionada con el blanco (por ejemplo, leen "cama" como *casa*). Otros leen toda una oración entre murmullos, y con dificultad construyen una pronunciación aproximada basada en las letras de las palabras, pero no pueden ir de los sonidos (ensamblados con tan poca firmeza) a su significado. Son necesarios años de práctica antes de que las dos rutas estén lo suficientemente próximas como para dar la impresión, en los adultos expertos, de un sistema de lectura único e integrado.

La mayoría de los modelos actuales de la lectura postulan que la lectura fluida depende de la coordinación precisa de las dos rutas: cada una tiene un papel más o menos importante según la palabra que se lee (conocida o desconocida, frecuente o poco frecuente, regular o irregular) y de la tarea (lectura en voz alta o comprensión de texto). En los años ochenta y noventa del siglo XX, algunos investigadores intentaron explicar estas observaciones planteando un sistema de lectura de una sola ruta. Por ese tiempo, la aparición de modelos de redes neuronales generó una gran ola de interés. Algunos investigadores las vieron como máquinas universales de aprendizaje que podían adquirir cualquier habilidad sin tener una arquitectura cognitiva predefinida. Pensaron que la adquisición de la lectura podía modelarse planteando la conexión de un *input* de letras con un *output* de sonidos, mientras que las conexiones intermedias se ajustaban a través de una poderosa regla de aprendizaje. Esperaban llegar a un sistema único que pudiera simular la lectura normal y sus patologías, sin tener que postular múltiples rutas corticales de procesamiento. A pesar de que estos sistemas, en ese momento, representaron un avance notable, particularmente en el modelado de la conversión de ortografía en sonidos (Seidenberg y McClelland, 1989), la mayoría de los investigadores hoy cree que este enfoque no es ade-

cuado. Mi propia impresión es que es imposible modelar la lectura sin un análisis exhaustivo de la arquitectura del cerebro, que depende de múltiples caminos paralelos y en parte redundantes. Prácticamente todos los modelos recientes, aunque se basen sobre simulaciones de sistemas neuronales, incorporan la idea esencial de las múltiples rutas para la lectura.¹¹ Más adelante, cuando abordemos los mecanismos cerebrales, vamos a ver que un rasgo esencial de la arquitectura cortical es su organización en múltiples rutas paralelas. De este modo, es probable que incluso el modelo de doble ruta subestime la verdadera complejidad de los sistemas neuronales de lectura. La separación en dos caminos, una ruta de conversión de ortografía en sonidos y una ruta semántica, es simplemente una aproximación útil.

Diccionarios mentales

Mientras hablábamos de una ruta superficial que convertía grafemas en fonemas, era realista imaginar que la lectura mental seguía una lista corta de procedimientos simples. Almacenar un mapa de unos pocos cientos de grafemas españoles y su pronunciación parecía suficiente. Sin embargo, cuando uno considera cómo puede funcionar la ruta profunda, que reconoce miles de palabras familiares, se vuelve necesario un repertorio tanto más grande. Los psicólogos cognitivos lo comparan con un diccionario o un “léxico mental”. Sin dudas deberíamos hablar de diccionarios mentales en plural, porque nuestras cabezas, de hecho, cargan con una cantidad de diferentes tipos de información sobre las palabras. Como lectores hábiles, todos poseemos un léxico ortográfico, que lista las formas escritas de todas las palabras que conocemos porque las hemos visto alguna vez. Estas representaciones ortográficas probablemente estén almacenadas en forma de árboles jerárquicos de letras, grafemas, sílabas y morfemas. Por ejemplo, la entrada de la palabra “pera” debería ser [pe] + [ra]. Pero también sostenemos que existe un “léxico fonológico” separado, un diccionario mental que almacena la pronunciación

11 Seidenberg y McClelland (1989), Grainger y Jacobs (1996), Plaut, McClelland, Seldenberg y Patterson (1996), Ans, Carbonnel y Valdois (1998), Zorzi, Houghton y Butterworth (1998), Coltheart y otros (2001), Harm y Seidenberg (2004). El más reciente de estos modelos explícitos, llamado CDP+ (Perry, Ziegler y Zorzi, 2007), ofrece una síntesis interesante de las propuestas teóricas anteriores.

de las palabras, que indica, por ejemplo, que “pera” se pronuncia *pera*. También tenemos un almacén gramatical que especifica que “pera” es un sustantivo, que su plural es regular, y así sucesivamente. Finalmente, cada palabra se asocia con docenas de rasgos semánticos que especifican su significado: una pera es una fruta comestible, de color amarillo, jugosa y carnosa cuando está madura, y así sucesivamente. Estos diccionarios mentales se abren, uno detrás del otro, a medida que nuestro cerebro recupera la información correspondiente. Dicha metáfora significa que nuestra mente posee una biblioteca de referencia en muchos volúmenes, que contiene desde una guía de ortografía hasta un manual de pronunciación y un diccionario enciclopédico.

El número de entradas que contienen nuestros diccionarios mentales es gigante. La extensión del conocimiento léxico humano se subestima en muchas ocasiones. He escuchado a personas bien informadas defender la idea aceptada de que Racine y Corneille escribieron sus obras utilizando sólo mil o dos mil palabras. El rumor dice que el inglés básico, una versión muy simplificada de la lengua inglesa que incluye solamente 850 palabras, debería permitir que nos expresáramos efectivamente, ¡y algunos sostienen que el vocabulario de algunos adolescentes urbanos se ha encogido a 500 palabras! Todas estas ideas son erradas. Tenemos estimaciones excelentes del vocabulario de una persona promedio, y alcanza fácilmente las varias decenas de miles de palabras. Un diccionario estándar tiene aproximadamente 100 000 entradas, y los procedimientos de muestreo sugieren que cualquier hablante del inglés conoce aproximadamente 40 000 o 50 000 de ellas, excluidas las palabras compuestas. Agreguemos más o menos el mismo número de sustantivos propios, acrónimos (“ONU”, “OTAN”), marcas registradas (“Nike”, “Coca-Cola”), palabras extranjeras y, en total, cada uno de nuestros lexicones probablemente contenga entre 50 000 y 100 000 palabras. Estas estimaciones son otra prueba de las impresionantes capacidades de nuestro cerebro. Cada lector recupera fácilmente un significado entre por lo menos 50 000 palabras candidatas, en el lapso de unas pocas décimas de segundo, basado nada más que en unos pocos trazos de luz en la retina.

Una asamblea de demonios

Varios modelos de acceso léxico logran imitar el comportamiento del sistema humano de lectura en condiciones cercanas a las impuestas por nuestro sistema nervioso. Casi todos ellos derivan de un conjunto de

ideas definido en primer lugar por Oliver Selfridge en 1959. Selfridge propuso que nuestro léxico funcionaba como una gran asamblea de “demonios”, o un “pandemonio” (Selfridge, 1959). Esta elocuente metáfora sugiere que el léxico mental puede imaginarse como un semicírculo inmenso donde decenas de miles de demonios compiten entre sí. Cada demonio solamente responde a una palabra, y lo hace saber gritando cada vez que la palabra es convocada y debe ser defendida. Cuando una cadena de letras aparece en la retina, todos los demonios la examinan simultáneamente. Aquellos que piensan que es probable que su palabra esté presente gritan muy fuerte. Entonces, cuando aparece la palabra “trino”, el demonio que está a cargo de responder a ella empieza a gritar, pero también lo hace su vecino, que codifica la palabra “trigo”. ¿“Trino” o “trigo”? Luego de una breve competencia, el defensor de “trigo” tiene que ceder: está claro que su adversario ha tenido más apoyo de parte de la cadena estímulo “t-r-i-n-o”. En este punto la palabra se reconoce y su identidad se puede pasar al resto del sistema.

Detrás de la aparente simplicidad de esta metáfora yacen varias ideas claves sobre cómo funciona el sistema nervioso durante la lectura:

- *Procesamiento masivo en paralelo.* Todos los demonios trabajan al mismo tiempo. Entonces, no hay necesidad de examinar cada una de las 50 000 palabras en serie una por una, un procedimiento cuya duración sería proporcional al tamaño de nuestro diccionario mental. El paralelismo masivo del pandemonio tiene como resultado, en consecuencia, una significativa economía de tiempo.
- *Simplicidad.* Cada demonio realiza una tarea elemental cuando verifica en qué medida las letras del estímulo se corresponden con su palabra. De esta forma el modelo del pandemonio no sucumbe a la trampa de postular un homúnculo, el hombre pequeño que, de acuerdo con la psicología popular, lleva las riendas de nuestro cerebro. (¿Quién controla su cerebro? ¿Otro homúnculo todavía más pequeño?) A este respecto, el modelo del pandemonio se puede comparar con el lema del filósofo Dan Dennett: “Uno despidió a los elegantes homúnculos de su esquema organizando ejércitos de ese tipo de idiotas para que hagan el trabajo” (Dennett, 1978).
- *Competencia y robustez.* Los demonios pelean por el derecho a representar la palabra correcta. Este proceso de competencia da como resultado tanto flexibilidad como robustez. El pandemonio se adapta automáticamente a la complejidad de la tarea que tiene en sus manos. Cuando no hay otros competidores, incluso una palabra

poco frecuente y mal escrita como "astrqlabio" puede reconocerse muy rápido: el demonio que la representa, aun si grita con poca fuerza al principio, siempre termina derrotando a todos los demás por un amplio margen. Si, sin embargo, el estímulo es una palabra como "casa", se van a activar muchos demonios (los de "tasa", "pasa", "rasa", "cata", "cara", "cama"...), y habrá una lucha violenta antes de que el demonio de "casa" logre ganar.

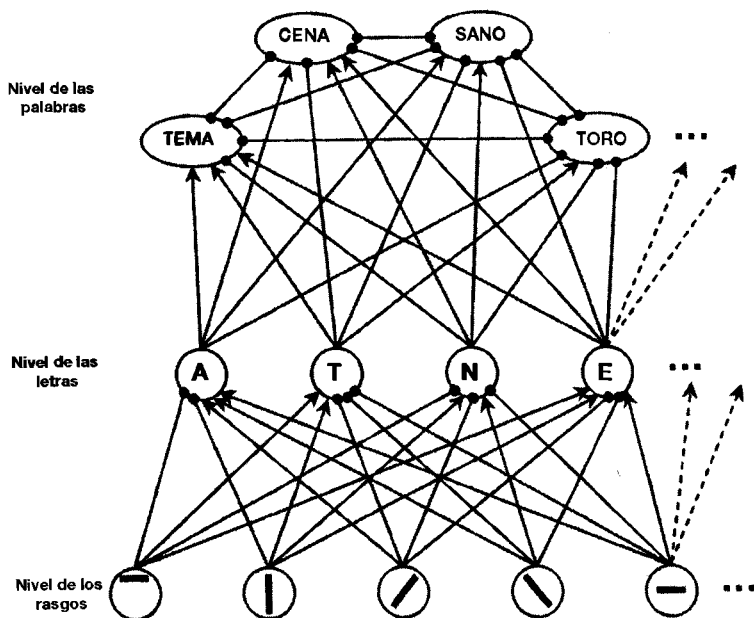


Figura 1.5. El proceso de identificación de palabras es similar a una gran asamblea en la que miles de letras y de unidades de palabras se confabulan para proveer la mejor interpretación posible de la cadena que ha ingresado. En el modelo de McClelland y Rumelhart, del que solamente se muestra aquí un fragmento, los rasgos básicos de la cadena de entrada activan los detectores de letras que, a su vez, se conectan preferentemente con detectores de las palabras que los contienen. Los vínculos pueden ser excitatorios (flechas) o inhibitorios (líneas que terminan con pequeños círculos). Una competencia feroz entre unidades léxicas identifica finalmente una palabra dominante que representa la hipótesis preferida de la red sobre la cadena que ha ingresado.

Todas estas propiedades, de una forma simplificada, se ajustan a las características principales de nuestro sistema nervioso. El cerebro humano, compuesto por casi cien mil millones (10^{11}) de células, es el arquetipo de un sistema paralelo enorme donde todas las neuronas operan simultáneamente. Las conexiones que las unen, llamadas “sinapsis”, les traen evidencia de estímulos sensoriales externos. Además, algunas de estas sinapsis son inhibitorias, lo que significa que cuando la neurona fuente se dispara, se suprime el disparo de otras neuronas. El resultado ha sido comparado por el neurofisiólogo canadiense Donald Hebb con un sistema de “asambleas de células”, coaliciones de neuronas que compiten constantemente. No es sorprendente que el pandemonio de Selfridge haya sido fuente de inspiración para muchos modelos teóricos del sistema nervioso, incluyendo los primeros modelos neuronales en red de la lectura. La figura 1.5 muestra uno de los primeros modelos de este tipo, presentado por Jay McClelland y David Rumelhart en 1981 (McClelland y Rumelhart, 1981; Rumelhart y McClelland, 1982). El modelo incluye tres capas jerárquicas de unidades de tipo neuronal.

- Abajo, las unidades de entrada son sensibles a los segmentos lineales que son presentados en la retina.
- En el medio se encuentran las unidades detectoras de letras que se disparan siempre que aparece una letra determinada.
- Arriba, las unidades codifican palabras completas.

Todas estas unidades están vinculadas estrechamente a través de un enjambre de conexiones. Esta conectividad enorme hace que la dinámica de la red se transforme en un juego político complejo en el que las letras y las palabras se apoyan, se censuran o se eliminan entre sí. Si estudia el gráfico con cuidado, verá conexiones excitatorias, que están representadas con pequeñas flechas, como también conexiones inhibitorias, representadas por pequeños círculos. Su función es propagar los votos de cada uno de los demonios. Cada detector de entrada, que codifica un rasgo específico como una barra vertical, envía estimulación a todas las letras que contienen este rasgo en particular (uno podría decir, para simplificar, que cada neurona visual “vota” por la presencia de estas letras). En el siguiente nivel, de forma similar, detectores de letras deliberan para elegir palabras específicas a través de la estimulación de sus unidades correspondientes. La presencia de las letras “A” y “N”, por ejemplo, apoya las palabras “CENA” y “SANO”, pero da sólo un apoyo parcial para la palabra “TEMA” y ninguno para la palabra “TORO”.

La inhibición también contribuye a la selección del mejor candidato. Gracias a las conexiones inhibitorias, las letras pueden votar en contra de las palabras que no las contienen. Por ejemplo, la unidad que codifica la letra “N” vota en contra de la palabra “TEMA” para inhibirla. Además, las palabras que compiten se inhiben entre sí. Entonces, la identificación de la palabra “CENA” es incompatible con la presencia de la palabra “TEMA” y viceversa.

Finalmente, es útil incorporar conexiones de arriba abajo, de las palabras a las letras que las componen. Este proceso se puede comparar con un senado en el que las letras son representadas por palabras que, a su vez, apoyan a las letras que las votaron. Las conexiones recíprocas permiten que se creen coaliciones estables para resistir que ocasionalmente falte una letra: si falta una letra “o” en la palabra “cocodrilo”, por ejemplo, sus vecinos conspirarán para elegir la palabra “cocodrilo”, y a su vez esta última votará por la presencia de una letra “o” que no está presente físicamente. Por último, son necesarias millones de conexiones para incorporar las numerosas restricciones estadísticas que conectan los niveles de las palabras, las letras y los rasgos.

Existen otras sutilezas que también posibilitan que toda la red funcione con fluidez. Por ejemplo, las unidades de palabras pueden tener diferentes umbrales para dispararse. Una palabra muy usual tiene un umbral más bajo que una palabra menos frecuente, y con un nivel equivalente de apoyo de abajo arriba tiene mejores posibilidades de ganar la carrera. Los modelos más recientes también incorporan agregados, como una codificación detallada de la posición de las letras. El sistema que resulta tiene un conjunto de dinámicas tan complejo que es imposible describirlo matemáticamente de forma completa. Es por eso que suele recurrirse a simulaciones de computadora que permiten determinar cuánto tiempo le toma al sistema converger en la palabra correcta y con cuánta frecuencia la identifica de forma incorrecta.

Lectura paralela

Si los científicos cognitivos se cargan con todos estos complejos modelos para la lectura, es porque sus predicciones se ajustan sorprendentemente bien a las mediciones empíricas. Los modelos inspirados por el pandemonio de Selfridge no solamente logran reproducir los resultados de los experimentos clásicos sobre la velocidad de lectura y también los errores, sino que además muchas veces llevan al descubrimiento de nuevos fenó-

menos sutiles, que constituyen las propiedades esenciales del comportamiento lector humano.

Si se le pide a usted que diseñe un programa de computación para el reconocimiento de palabras escritas, es probable, sin importar qué solución elija, que su programa sea más lento cuanto más largas sean las palabras. Sería natural, por ejemplo, que el programa procesara las letras consecutivamente, de izquierda a derecha. En tanto las instrucciones se procesan de forma serial, uno esperaría que una palabra de seis letras tomara aproximadamente el doble de tiempo que una palabra de tres. En cualquier modelo serial, el tiempo de reconocimiento debería aumentar en relación directa con el número de letras.

A la luz de este ejemplo, es bastante notable que la relación entre el tiempo de lectura y el número de letras no funciona para el cerebro humano. En los lectores adultos expertos, el tiempo requerido para leer una palabra es esencialmente independiente de su longitud. Siempre que la palabra no tenga más de seis o siete letras, su reconocimiento toma una cantidad de tiempo aproximadamente constante, más allá de la longitud.¹² Obviamente, esto implica que nuestro cerebro cuenta con un mecanismo paralelo que aplasta las letras y permite procesar todas las letras al mismo tiempo. Este resultado empírico es incompatible con la metáfora de un escáner de computadora, pero concuerda de forma precisa con la hipótesis del pandemonio, en el que millones de procesadores especializados operan simultáneamente y en paralelo en cada uno de varios niveles (rasgos, letras y palabras).

Decodificación activa de letras

Sigamos con esta metáfora de la computadora. En un programa clásico de computación, la información se procesa típicamente a lo largo de una serie de pasos, desde las operaciones más simples hasta las más abstractas. Es lógico comenzar con una subrutina que reconoce letras individuales, seguida de una que las agrupa en grafemas, y finalmente una tercera que examina las potenciales palabras. Este tipo de programa, sin embargo,

12 Weekes (1997), Lavidor y Ellis (2002). Esto solamente es verdadero si las palabras son lo suficientemente familiares y aparecen en su orientación horizontal normal, en el centro de la fóvea o apenas a su derecha (Lavidor, Babkoff y Faust, 2001; Lavidor y Ellis, 2002; Ellis, Young y Anderson, 1988; Ellis, 2004).

es típicamente muy intolerante frente a los errores. Cualquier falla en la primera etapa resulta en general en una crisis completa del proceso de reconocimiento. De hecho, incluso el programa de reconocimiento de caracteres más automatizado, como el que acompaña a los escáneres actuales, sigue siendo extremadamente sensible a cualquier merma en la calidad de la imagen: unas pocas manchas de polvo en la ventana de escaneo son suficientes para convertir una página perfectamente legible para un humano en un texto confuso que la computadora considera una jerigonza.

Nuestro sistema visual, a diferencia de la computadora, disfruta con la resolución de ambigüedades. Puede experimentar esto por usted mismo si lee la siguiente oración.

*Las abejas vuelan cerca de los niños que
leen en el jardín.*

Sin que usted se diera cuenta, su ojo acaba de pasar sin esfuerzo por una serie de dificultades que habrían confundido a cualquier programa clásico de computadoras. ¿Se dio cuenta de que en la palabra “leen” la letra que se repite en realidad es una “c”? De hecho, exactamente las mismas formas de letras se utilizan para escribir la palabra “cerca”, pero su sistema visual trata a la primera como una “c” y a la segunda como una “e”. La palabra “abejas” es peor. ¡La primera “a” y la segunda son distintas! ¡En realidad, la segunda es una “o”! Las letras “v” y “u” en la palabra “vuelan” tienen exactamente la misma forma. Este tipo de ambigüedades se resuelven por el contexto. La cadena “uuelan” no sería correcta en español, mientras que su interpretación como el verbo “vuelan” se ajusta muy bien al resto de la oración.

En resumen, este tipo de ambigüedades que crearía una complicación en cualquier programa actual de computación ni siquiera es percibido por el lector humano. Esta resistencia a la degradación, prácticamente incompatible con un programa clásico de computación, se ajusta muy bien al marco del pandemonio, donde las letras, los grafemas y las palabras se sostienen los unos a los otros a través de una multitud de conexiones redundantes. La conspiración conjunta de letras, palabras y contexto es suficiente para darle una extraordinaria robustez a nuestro dispositivo mental de lectura. Alberto Manguel tenía razón: es el lector quien le da significado a la página escrita (su “ojo capacitado” le da vida a lo que de otro modo sería una letra muerta). La identificación de le-

tras y de palabras es el resultado de un proceso de decodificación de arriba abajo a través del cual el cerebro le agrega información a la señal visual.

Los psicólogos han descubierto una notable manifestación de este activo proceso de decodificación con el efecto de superioridad de la palabra. En el experimento clásico de Gerald Reicher (Reicher, 1969; Ferrand, 2001: 58-63), se le pide a un lector adulto que entre dos letras posibles identifique cuál se presenta brevemente en una pantalla (por ejemplo, D o T). El nivel de dificultad puede ajustarse para que la persona solamente dé la respuesta correcta ocasionalmente. En algunos ensayos la letra se presenta sola. En otros, la misma letra (D o T) se presenta en el contexto de otras letras que forman una palabra (por ejemplo, CADA o CATA). Nótese que la cadena extra no agrega ninguna información útil. Dado que las mismas letras CA_A están presentes en ambos casos, el sujeto debe tomar una decisión únicamente sobre la base de la anteúltima letra. Sin embargo, de forma bastante sorprendente, ¡el desempeño de los sujetos es mucho peor cuando la letra se presenta sola que cuando se presenta cerca de las letras redundantes! La identificación mejora ampliamente cuando una letra se presenta en el contexto de una palabra. Parece que los votos agregados que provee el nivel de la palabra ayudan a limpiar algo del ruido que existe en el estímulo que entra. Este efecto de superioridad de la palabra persiste cuando se inserta una letra en un neologismo (GERD o GERT) pero deja de funcionar con una cadena de letras aleatorias (GQSD o GQST) (Spoehr y Smith, 1975; Rumelhart y McClelland, 1982).

Otra vez, este fenómeno parece difícil de explicar desde un modelo de procesamiento lineal de la información, en el que la identificación de letras individuales precede necesariamente su combinación en unidades más grandes. Al contrario, el efecto de superioridad de la palabra de Reicher subraya la redundancia y el paralelismo de nuestro procedimiento para el reconocimiento visual de las palabras. Incluso cuando enfocamos nuestra atención en una sola letra, nos beneficiamos automáticamente del contexto en que está ubicada. Cuando este contexto es una palabra o un fragmento de una palabra, nos da acceso a más niveles de codificación (grafemas, sílabas y morfemas), cuyos “votos” se agregan a los de las unidades de letras y facilitan su percepción. La mayoría de los modelos de lectura explica el efecto de Reicher postulando que las letras y las palabras interactúan en un proceso de doble vía: las unidades de detección de grafemas y palabras de nivel más alto deliberan para favorecer la detección de letras compatibles con su propia interpretación

de la cadena que se ve. Lo que vemos depende de lo que pensamos que estamos viendo.

Conspiración y competencia en la lectura

La metáfora de la computadora, que compara al lector humano con un simple escáner, resulta, entonces, inadecuada. La decodificación de palabras no procede de una forma estrictamente secuencial, y el tiempo que se necesita para leer una palabra no está relacionado con el número de letras que contiene. Volvamos al modelo del pandemonio, en el cual el reconocimiento es alcanzado por una asamblea de demonios. Aquí, el tiempo que le tomaría a una asamblea de humanos llegar a una decisión importante, el “tiempo de convergencia”, dependería no tanto del contenido de la moción en sí misma como de las disputas que provoca. Cuando todos los senadores están de acuerdo, incluso una ley complicada puede adoptarse sin mucha discusión. Por el contrario, incluso un aspecto menor de una ley, si toca un tema sensible, es capaz de iniciar discusiones que pueden continuar por un largo tiempo antes de que se llegue a un acuerdo.

Los estudios de la lectura humana sugieren que el cerebro del lector se comporta de una forma bastante similar a un senado mental. El reconocimiento de una palabra requiere que múltiples sistemas cerebrales se pongan de acuerdo en una interpretación no ambigua de esta entrada visual. El tiempo que nos toma leer una palabra depende, entonces, principalmente, de los conflictos y coaliciones que pone en movimiento en nuestra arquitectura cortical.

A lo largo de los años, los psicólogos experimentales han descubierto que los conflictos pueden ocurrir en todos los niveles del procesamiento de las palabras. Dentro del lexicón, por ejemplo, se ha hecho evidente que las palabras compiten contra sus “vecinos”, es decir, palabras que son tan similares que tienen todas las letras en común, excepto una.¹³

13 En el capítulo 3, vamos a ver que las observaciones más recientes sobre la codificación neural de las palabras están de acuerdo con esta definición de vecinos léxicos como palabras que se diferencian únicamente en una letra. Si las palabras se codifican utilizando pares de letras, o bigramas, como sugieren varios estudios (Grainger y Van Heuven, 2003; Grainger y Whitney, 2004; Dehaene, Cohen, Sigman y Vinckier, 2005); deberíamos probablemente adoptar una estimación algo diferente basada en el número o la proporción de

La palabra “cala”, por ejemplo, cohabita con sus muchos vecinos “tala”, “pala”, “rala”, “mala”, “sala”, “cata”, “casa”, “cara”, “cana”, “caso”, “cosa”, mientras que la palabra “bíceps” es una ermitaña, una solitaria casi sin vecinos. Los experimentos muestran que el número y especialmente la frecuencia relativa de los vecinos de una palabra tienen un papel crucial en el tiempo que nos toma reconocerla.¹⁴

En muchos casos, la presencia de un número de vecinos ayuda. Cuantos más vecinos tiene una palabra, más rápido podemos afirmar que pertenece al léxico del español. La presencia de vecinos hace que la palabra “cala” sea más típica de la ortografía del español que la palabra “bíceps”. El hecho de que haya densidad de vecinos también ofrece mejores oportunidades de aprendizaje. Tenemos muchas más ocasiones para aprender la pronunciación de las palabras que terminan en “-ala” que la de una de las únicas que terminan con “-íceps”. Esta huérfana, entonces, se codifica de una forma menos óptima tanto en el nivel visual como en el fonológico.

Pero tener demasiados vecinos también puede ser intrusivo e irritante. Nombrar o entender una palabra en general requiere la identificación inequívoca y, por eso, la separación de todos los vecinos, una operación que puede ser particularmente lenta y difícil si los vecinos son más comunes y, por eso, tienen un mejor desempeño en la competencia léxica. Entonces, la palabra “cala” se nombra de una forma relativamente lenta, porque compite con palabras utilizadas con mucha frecuencia, como “casa” y “cara” (Segui y Grainger, 1990). Nuestro lexicón es un campo de batalla en el que la competencia es feroz y en el que las palabras frecuentes tienen una ventaja sobre sus vecinas de menor frecuencia.

La competencia también ocurre dentro de la ruta de conversión de ortografía en sonido. Por ejemplo, toma más tiempo leer la palabra “chilla” que la palabra “bote”. En “chilla” la cadena debe ser analizada en los grafemas complejos “ch” y “ll”, cuya pronunciación está radicalmente alejada de la de las letras individuales “c”, “h” o “l”. La palabra “bote”, en cambio, es más simple, ya que cada una de sus letras se pro-

bigramas compartidos como medida de similitud ortográfica. Véase Grainger, Granier, Farioli, Van Assche y Van Heuven (2006).

14 La literatura científica sobre los efectos de vecindad es mucha y algunas veces contradictoria, probablemente porque la presencia de muchos vecinos puede impulsar efectos diferentes. Para una discusión reciente, véase Ferrand (2001: 96-115).

yecta directamente en un sonido aceptado. La psicología experimental demuestra con facilidad este conflicto latente entre el nivel de las letras y el nivel de los grafemas. Durante la lectura de palabras compuestas por grafemas complejos, hay un período breve de competencia inconsciente que se resuelve rápidamente pero lleva a una desaceleración medible de las respuestas si se compara con la lectura de palabras más transparentes como “bote”.¹⁵

Es importante notar que la mayoría de estos conflictos se resuelve automáticamente, sin nuestra intervención consciente. Cuando se enfrenta a nuestro sistema nervioso con la ambigüedad, su estrategia fundamental es dejar todas las opciones abiertas: algo que sólo es posible en un sistema paralelo en el que se pueden considerar al mismo tiempo múltiples interpretaciones. Gracias a esta organización abierta, los niveles subsecuentes de análisis pueden contribuir con sus propias evidencias, hasta que se alcanza una solución globalmente satisfactoria. En algunos casos, solamente el contexto de una oración permite comprender el significado de una palabra o incluso su pronunciación (pensemos en una oración como “se sentó a leer en un **banco** de plaza mientras esperaba a que abriera el **banco**”). En estos casos, los experimentos muestran que todas las interpretaciones posibles de la palabra se activan inconscientemente, hasta que el contexto restringe la interpretación a un solo significado (Swinney y otros, 1979; Seidenberg y otros, 1982). Nuestros procesos de lectura son tan eficientes que pocas veces somos conscientes de las ambigüedades (a no ser que sean muy graciosas, como en el caso de Dorothy Parker, que le mandó un telegrama a su agente porque no había cumplido con una fecha límite: “Tell the editor I’ve been too fucking busy-or vice versa”).

Del comportamiento a los mecanismos cerebrales

A lo largo de este capítulo, examinamos que la lectura puede dividirse en una secuencia de etapas de procesamiento de la información. Desde el procesamiento de la imagen en la retina hasta el reconocimiento invariante de las letras, el acceso a la pronunciación, el reconocimiento de

¹⁵ Rey y otros (1998), Rey, Ziegler y Jacobs (2000). Para acceder a una revisión reciente de los efectos de competencia en múltiples niveles dentro de la cadena de procesamiento de la lectura, véase Grainger y Ziegler (2007).

morfemas y la resolución de conflictos dentro del lexicon, la eficiencia de los mecanismos humanos para la lectura es impresionante. En una fracción de segundo, sin esfuerzo aparente, nuestro cerebro resuelve un problema de reconocimiento visual que aún desafía a los programas de computación actuales. El procesamiento paralelo de todos los caracteres de una palabra, la resolución inteligente de las ambigüedades, el acceso inmediato a una de las tal vez 50 000 palabras que residen en el léxico mental, todos son testimonio de la sorprendente adaptación de nuestro cerebro a la tarea de la lectura.

La sorprendente eficiencia de nuestro proceso de lectura solamente sirve para aumentar el misterio que rodea sus orígenes. ¿Cómo es que nuestro cerebro puede estar tan bien adaptado a un problema para el cual no puede haber evolucionado? ¿Cómo pudo la arquitectura cerebral de un extraño primate bípedo convertido en cazador-recolector adaptarse de forma tan perfecta, y solamente en unos pocos miles de años, a los desafíos del reconocimiento visual de las palabras? Para clarificar este problema, vamos a enfocarnos ahora en los circuitos cerebrales para la lectura. Un sorprendente descubrimiento reciente muestra que hay un área cortical específica para las palabras escritas, que se parece en mucho al área auditiva primaria o a la corteza motora que existe en los cerebros de todos nosotros. Es tal vez más sorprendente aún que esta área de la lectura sea aparentemente idéntica en los lectores del inglés, del japonés y del italiano. ¿Esto significa que hay mecanismos cerebrales universales para la lectura?

2. La “caja de letras” del cerebro¹⁶

En 1892, el neurólogo francés Joseph-Jules Déjerine descubrió que una apoplejía que afectaba un pequeño sector del sistema visual izquierdo del cerebro llevaba a una alteración completa y selectiva de la lectura. Las neuroimágenes o imágenes cerebrales modernas confirman que esta región tiene un papel tan esencial en la lectura que se la puede llamar acertadamente la “caja de letras” del cerebro. Situada en la misma área cerebral en los lectores de todo el mundo, responde automáticamente a las palabras escritas. En menos de un quinto de segundo, un lapso de tiempo muy corto para la percepción consciente, extrae la identidad de una cadena de letras sin importar los cambios superficiales en el tamaño, la forma o la posición de las letras. Luego transmite esta información a dos grandes conjuntos de áreas cerebrales distribuidas en los lóbulos temporal y frontal, que codifican, respectivamente, el patrón de sonidos y el significado.

¹⁶ En el texto original se utiliza la expresión “the brain’s letterbox”, lo que constituye un juego de palabras irreproducible en español. La palabra “letter”, en inglés, significa tanto “letra” como “carta”. La palabra “box”, por otro lado, significa “caja”. La palabra compuesta “letterbox” se traduce como “buzón” (la caja de las cartas). El autor juega con el doble significado de la palabra “letter” y llama “buzón” a esta área del cerebro, no porque se encargue de las cartas sino porque se ocupa de las letras. [N. de la T.]

Estamos absurdamente acostumbrados al milagro de unos pocos signos escritos capaces de contener una imaginería inmortal, evoluciones del pensamiento, nuevos mundos con personas vivientes que hablan, lloran, se ríen... ¿Y si un día nos despertáramos, todos nosotros, y descubriéramos que somos absolutamente incapaces de leer?

Vladimir Nabokov, *Pálido fuego*

El descubrimiento de Joseph-Jules Déjerine

Una hermosa mañana parisina de octubre de 1887, el señor C., un comerciante retirado culto y amante de la música, estaba cómodamente sentado en un sillón leyendo un buen libro, cuando de repente se encontró, a su pesar, ¡con que ya no podía leer ni una palabra! En los días anteriores, ocasionalmente había sentido que su brazo o su pierna derecha estaban débiles o un poco adormecidos, y que tenía una extraña y leve dificultad para hablar. Estos pequeños momentos de incomodidad, sin embargo, habían sido muy fugaces y no lo habían preocupado demasiado. Ahora el problema era tanto más severo: ¡leer era simplemente imposible! Sin embargo, el señor C. todavía podía hablar, reconocer objetos y a las personas que estaban a su alrededor, e incluso garabatear algunas notas. Era difícil imaginar qué podría haber provocado esta situación tan frustrante.

Convencido de que un nuevo par de anteojos resolvería su problema, el señor C. consultó al afamado oftalmólogo Edmund Landolt. Desgraciadamente, el doctor Landolt de inmediato notó que la afección del señor C. requería más que nuevos anteojos. Sospechaba que podía existir un problema neurológico y decidió pedir ayuda al eminente neurólogo francés Joseph-Jules Déjerine, del Hospice de Bicêtre. El encuentro del señor C. con Déjerine tuvo lugar el 15 de noviembre de 1887. Luego de una extraordinariamente meticulosa revisión psicológi-

ca y anatómica, el doctor Déjerine pudo hacer un diagnóstico y llegar a las primeras conclusiones científicas acerca de las bases cerebrales de la lectura (Déjerine, 1892).¹⁷ Denominó “ceguera verbal pura” la alteración del señor C., con lo que hacía referencia a un déficit selectivo en el reconocimiento visual de secuencias de letras. El hecho de que existiera un trastorno de ese tipo implicaba la presencia de un “centro visual cortical para las letras” en el cerebro, especializado en la lectura. El primer indicio de la especialización del cerebro para la lectura se había demostrado científicamente.

De hecho, lo que Déjerine y Landolt establecieron fue que su paciente ya no reconocía las letras individualmente, ni tampoco las palabras escritas. Cuando se lo confrontaba con una cadena de letras,

piensa que ha perdido la cabeza, porque entiende que los signos que no logra reconocer son letras, insiste en que puede verlos perfectamente y delinea su forma con su mano, pero es incapaz de nombrarlos. Si se le pide que copie lo que ve, lo logra con gran esfuerzo, copiando lentamente cada letra de a un trazo por vez, como si estuviera trabajando en un dibujo técnico, y coteja cada una de las curvas para asegurarse de la exactitud de su dibujo. A pesar de estos esfuerzos, continúa siendo incapaz de nombrar las letras.

Esta es la paradoja de la “ceguera verbal”: el paciente solamente es ciego a las letras y a las palabras. La agudeza visual continúa siendo excelente, los objetos y las caras se reconocen fácilmente, y el paciente todavía puede orientarse en un ambiente nuevo o incluso apreciar una pintura:

Cuando se le muestran objetos, los nombra con facilidad. Puede nombrar las partes de todos los instrumentos que se encuentran en un catálogo de diseño industrial. Su memoria no falla en ningún punto durante su examen; los dibujos inmediatamente hacen aparecer la palabra correcta y cómo usar cada objeto... Cuando se le entrega el diario *Le Matin*, que lee a menudo, el paciente dice: “Es *Le Matin*, lo reconozco por su forma”, pero no puede leer una sola letra del título.

17 Todas las citas subsiguientes se tomaron de esta fuente esencial para la neuropsicología de la lectura.

No obstante, el examen clínico sí reveló algunos déficits visuales. Hacia la derecha del señor C., el mundo visual parecía estar borroso. "Cuando se los sitúa en las mitades derechas de los campos visuales, los objetos parecen más oscuros o menos claros que en la otra mitad" (hemianopsia parcial derecha, en términos neurológicos). Además, ya no distinguía los colores que estaban a su derecha (hemiacromatopsia), y sólo veía ese lado de su mundo en blanco y negro o en diferentes tonos de gris. Sin embargo, estos déficits no pueden explicar su dificultad desproporcionada con la lectura. El señor C. era consciente de su déficit visual y espontáneamente orientaba su mirada para que las palabras que intentaba leer cayeran a la izquierda de su punto de fijación, donde su visión era normal. Pero nada de esto mejoraba su lectura.

Tal vez la mejor prueba de que el señor C. sufría de un déficit selectivo para la lectura de letras proviniera del hecho de que todavía podía reconocer números. Leía secuencias de dígitos arábigos con facilidad e incluso hacía cálculos complejos sin inmutarse. Esta observación esencial implica que la tarea de leer dígitos supone un camino anatómico parcialmente distinto de aquellos usados para leer letras y palabras. Desde un punto de vista visual, sin embargo, los dígitos y las letras tienen formas muy similares, que son arbitrarias e intercambiables. De hecho, algunas culturas representan los números utilizando las formas de las letras (en árabe, por ejemplo, las formas \forall , λ , γ , ϕ , ξ , que parecen letras griegas, representan los dígitos 8, 7, 6, 5 y 4). Entonces, cualquier disociación entre dígitos y letras no puede explicarse como una pérdida de agudeza visual. Ningún par de anteojos, sin importar cuán sofisticado fuera, podría curar el déficit lector del señor C. Su pérdida selectiva de la lectura se originaba en el cerebro y su déficit nos obliga a inferir algún tipo de especialización cortical para las secuencias de letras.

Otras observaciones enfatizan aún más la singularidad del déficit de lectura del señor C. Déjerine insiste en que el intelecto y el lenguaje del paciente estaban notablemente preservados. Efectivamente, continuaba expresándose con gran claridad y usaba un vocabulario tan amplio como el que utilizaba antes de su ataque cerebral. Lo que era más sorprendente, y maravilló a Déjerine, fue que la escritura estaba completamente preservada:

En forma espontánea, el paciente escribe tan bien como habla. Cuando comparo los numerosos ejemplos de escritura que le pedí, no hay errores, no hay cambios en el orden de las letras [...]. ¡ Todavía puede escribir al dictado fácilmente y con fluidez, pero para

el paciente es imposible leer lo que acaba de escribir [...]. Se pone ansioso con estos fenómenos, escribe muchas letras una detrás de la otra y dice: "Todavía puedo escribir esas letras, así que ¿por qué no puedo leerlas?".

De hecho, Déjerine observó un leve deterioro en la escritura del paciente, pero esto era totalmente imputable a déficits visuales de nivel bajo:

Si se lo interrumpe cuando está escribiendo al dictado, se confunde y no sabe dónde se quedó; del mismo modo, si comete un error, no puede encontrarlo. En el pasado, podía escribir más rápido y mejor; ahora los caracteres son más grandes y los traza dubitativamente, porque, como él dice, ya no puede usar sus ojos para controlarlos. De hecho, lejos de guiarlo, ver lo que está escribiendo parece molestarlo tanto que prefiere escribir con los ojos cerrados.

La preservación de la escritura iba de la mano con la memoria muscular. El paciente todavía podía leer letras si se le permitía trazar sus contornos. "Entonces, su sentido muscular despierta el nombre de la letra; y la mejor prueba de esto es que uno puede hacerle decir una palabra con los ojos cerrados, guiando su mano en el aire para hacerle trazar los contornos de sus letras." Años después, otros neurólogos demostraron que en esos casos la lectura táctil tampoco sufrió daños: ¡el paciente es mejor descifrando letras cuando estas se trazan en su palma que cuando se le presentan visualmente! Esto provee una indicación muy valiosa del nivel en que ocurre el déficit: la memoria motora de las formas de las letras está intacta; sólo su reconocimiento visual se encuentra dañado.

Alexia pura

Los síntomas del señor C. son tan extraños que uno podría sentirse tentado a desestimarlos. ¿Cómo era posible que escribiera e incluso deletreara las palabras más abstrusas y a la vez siguiera siendo incapaz de leer letras? ¿Era un farsante o un histérico? No, dijo Déjerine, porque "poseemos varias observaciones clínicas excelentes acerca de esta variedad de ceguera verbal". Efectivamente, la neurología moderna ya ha confirmado cabalmente todas las observaciones iniciales de Déjerine. Al día de hoy, se han descrito cientos de casos similares (Warrington y Shallice, 1980; Patterson y Kay, 1982; Montant y Behrmann, 2000). Lo único que ha cambiado es la ter-

minología: el síndrome se llama ahora "alexia sin agrafia" (literalmente, lectura deteriorada sin deterioro de la escritura) o "alexia pura".

¿Por qué la palabra "pura"? Por al menos cuatro razones, todas debidamente informadas en el reporte original de Déjerine de 1892, y luego replicadas completamente:

- El lenguaje hablado está intacto.
- La escritura se encuentra preservada.
- El reconocimiento visual de objetos, caras, dibujos e incluso dígitos puede ser en gran medida normal (Cohen y Dehaene, 1995, 2000; Gallard, Naccache y otros, 2006).
- El conocimiento táctil o motor de las formas de las letras se encuentra preservado.

Si bien se ha informado de alexia pura en muchos pacientes desde la época de Déjerine, los análisis modernos han revelado que los pacientes pueden pertenecer a dos subcategorías (Patterson y Kay, 1982; Hanley y Kay, 1996). Algunos, como el señor C., no pueden leer ni siquiera una letra. Incluso pueden tener problemas para vincular las mayúsculas con las minúsculas y no pueden ver que "A" y "a" son la misma letra en diferentes formas (Miozzo y Caramazza, 1998). Otros, sin embargo, aún pueden reconocer letras individuales. Este simple factor marca una gran diferencia en la vida diaria. Gracias a la lenta identificación, una a una, de todas las letras de una palabra, estos pacientes todavía pueden descifrar palabras, y sin más la alexia pura se manifiesta como una lectura extremadamente lenta. A diferencia de los lectores sanos, quienes sin dificultad leen una palabra en una mirada sin importar su longitud, leer una palabra para los lectores con alexia pura requiere unos cinco o diez segundos, y sus tiempos de lectura se incrementan a medida que aumenta el número de letras. Este patrón característico de alteración se llama "lectura letra por letra" e ilustra claramente la naturaleza del déficit. Los pacientes con alexia pura no pueden procesar todas las letras de una palabra de manera simultánea.¹⁸

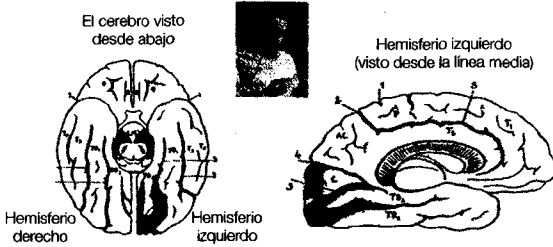
18 Un estudio de Fiset y otros (2005) restringe esta afirmación, al sugerir que la similitud de cada letra con el resto del alfabeto contribuye al efecto de longitud de palabra. Cuando se controla en forma adecuada la posibilidad de confundir una letra con otras, a los pacientes no les insume forzosamente más tiempo leer las palabras más largas. Entonces, el verdadero carácter del déficit de los pacientes podría ser la pérdida de un código neural adquirido

Lo que una lesión pudo revelar

El caso del señor C. sugiere que nuestro cerebro contiene áreas específicas para la lectura que transmiten información sobre la identidad de una secuencia de letras a las áreas cerebrales del lenguaje. Déjerine sabía que solamente una autopsia podía señalar de modo infalible la localización exacta de las áreas afectadas y garantizar “el valor riguroso de un experimento fisiológico” a su observación. Finalmente, el 16 de enero de 1892, más de cuatro años después de su primer ataque cerebral, el señor C. murió de un segundo infarto cerebral sin haber recuperado la habilidad para leer. Como observó el neurólogo que lo trataba habitualmente, “a pesar de los ejercicios del paciente y de mucho esfuerzo, nunca pudo recuperar el significado de las letras y de las palabras”. Déjerine ahora podía llevar a cabo una autopsia. Algunas semanas después, en la Sociedad Francesa de Biología, describió lo que había encontrado. El análisis post mortem había revelado que el hemisferio derecho del paciente estaba completamente intacto, pero la parte posterior del hemisferio izquierdo se encontraba afectada por viejas lesiones. Estas ocupaban “el lóbulo occipital, y particularmente las circunvoluciones del polo occipital, comenzando en la base del *cuneus*, así como también las regiones de los lóbulos lingual y fusiforme” (véase “Para orientarse en el cerebro”, en p. 14, para una ilustración de estas regiones cerebrales). En la figura 2.1, aparece un facsímil del dibujo original de Déjerine. Los contornos de las grandes “placas amarillas atroficas” aparecen claramente en las áreas corticales donde cuatro años antes un infarto vascular había vuelto incapaz de leer al señor C.

que amplifica las minúsculas diferencias entre letras. Esta pérdida aumentaría la similitud entre letras (del mismo modo en que los caracteres chinos se parecen para alguien que no los ha aprendido). A partir de cierto umbral, este parecido exagerado puede forzar al paciente a escrudiar lentamente cada letra como un lector inicial. Dicho de otro modo: el reconocimiento paralelo de las palabras no estaría suprimido en la alexia pura, sino sólo deteriorado (Arguin, Fiset y Bub, 2002). La hipótesis de una habilidad de lectura paralela residual podría explicar el fenómeno de “lectura implícita”, en que algunos pacientes todavía son capaces de clasificar las palabras de acuerdo con su significado, a pesar de que ya no pueden leerlas en voz alta (Coslett y Saffran, 1989; Coslett, Saffran, Greenbaum y Schwartz, 1993). Sin embargo, esta habilidad también podría reflejar la recuperación parcial de la lectura a través del hemisferio derecho no dañado (Coslett y Monsul, 1994; Cohen y otros, 2003).

Joseph-Jules Déjerine, 1892



Laurent Cohen y colaboradores, 2003

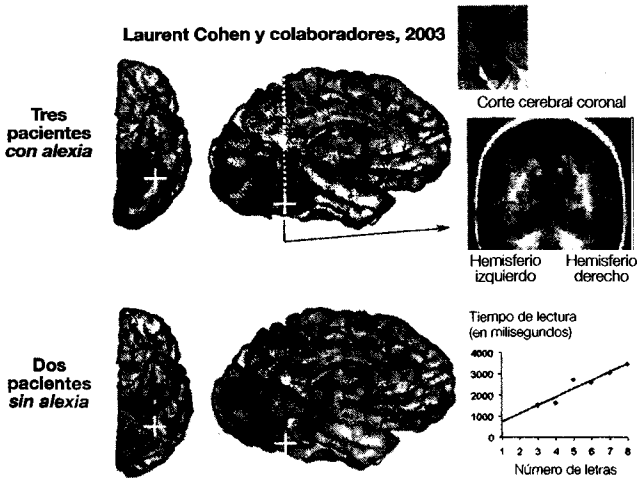


Figura 2.1. Luego de un ataque cerebral, un paciente puede perder la habilidad para leer y de esta forma volverse aléxico. La autopsia del primer paciente aléxico, descrito por Déjerine en 1892 (arriba), muestra lesiones similares a las que se visualizan en los pacientes actuales a través de la resonancia magnética (abajo, Cohen y otros, 2003). En ambos casos, se encuentra afectada la parte posterior e inferior del hemisferio izquierdo. La intersección de múltiples lesiones señala un sitio cortical preciso cuya lesión afecta sistemáticamente la lectura. Esta área existe en cualquier persona alfabetizada y se encuentra siempre en la región ténporo-occipital ventral izquierda (marcada con cruces blancas). Los pacientes aléxicos logran ocasionalmente descifrar una palabra letra a letra. Incluso así, su tiempo de lectura continúa siendo lento y, a diferencia de lo que ocurre con otros sujetos, aumenta con la cantidad de letras. Han perdido la habilidad de reconocer las cadenas de letras en paralelo.

Para explicar de manera acabada cómo la lesión de algunas áreas corticales podía alterar selectivamente la lectura, Déjerine apeló a un concepto de “desconexión”. En su informe para la Sociedad de Biología, hizo énfasis en que la lesión del señor C. invadía parcialmente la “materia blanca”, los tractos de fibra que conectan áreas distantes del cerebro. Además, la lesión estaba ubicada en el polo occipital, que es la base del procesamiento visual temprano. Por último, afectaba parcialmente la corteza visual izquierda, y destruía parcialmente las conexiones de larga distancia del cuerpo calloso que trasladan la información visual desde las regiones visuales del lado derecho.

Con estas claves anatómicas en mente, Déjerine propuso que la lesión cerebral del señor C. había desconectado las fibras que alimentaban con información visual una región que llamó el “centro visual para las letras”. Sobre la base de otras observaciones, ubicó este centro hipotético de lectura en el giro angular, un pliegue en la corteza cerebral en la base del lóbulo parietal izquierdo. Déjerine consideró que el centro visual para las letras del señor C. estaba intacto. Esto explicaba la habilidad del paciente para leer, deletrear y reconocer la forma de las letras cuando se le trazaban en la palma de la mano. Sin embargo, como estaba privada de la entrada visual, esta región resultaba literalmente desconectada y, por lo tanto, era incapaz de aplicar este conocimiento de las letras a ningún estímulo visual. Por lo tanto, el paciente no era ciego. Todavía podía ver las formas de las letras y procesarlas como cualquier otro objeto visual, pero no podía reconocerlas como letras o como palabras y estaba sufriendo un síndrome acertadamente llamado “ceguera verbal”.

El análisis moderno de las lesiones

Más de cien años después de la notable observación de Déjerine, mi colega neurólogo Laurent Cohen y yo,¹⁹ junto con muchos otros investigadores (Damasio y Damasio, 1983; Binder y Mohr, 1992; Leff y otros, 2001), reabrimos el caso de C. con nuevos pacientes. La lesión que había descrito Déjerine resultó ser muy común. La mayoría de nuestros pacientes con alexia pura sufría de lesiones en la región ténporo-occipital izquierda, en la misma localización general que la del señor C. (este tipo

19 Cohen y otros (2003). El libro de Laurent Cohen *L'homme thermomètre* es una excelente introducción a los déficits visuales y a su interpretación.

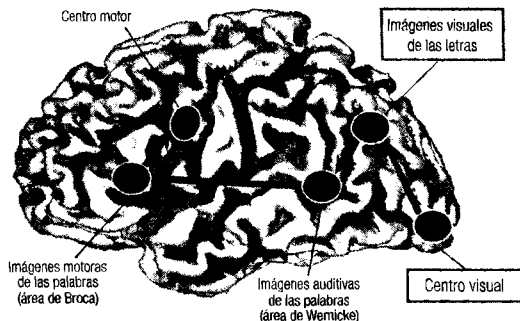
de lesiones frecuentemente son resultado de un coágulo que obstruye la arteria cerebral posterior izquierda, que suministra sangre a esta área). La figura 2.1 muestra los contornos de las lesiones que observamos en tres casos recientes. Todas ellas afectan la superficie interior de la parte posterior del hemisferio izquierdo.

La resonancia magnética moderna (MRI) llega tanto más allá que las herramientas disponibles en tiempos de Déjerine. No sólo ya no es necesario esperar a una autopsia para observar la lesión de un paciente, sino que también es posible crear imágenes computarizadas de las lesiones de diferentes pacientes y combinarlas en un espacio anatómico unificado que corrija las diferencias individuales en la forma y el tamaño del cerebro. Así, ahora podemos ir más allá que Déjerine: podemos definir qué partes de la corteza son específicamente responsables del déficit de lectura, y separarlas de aquellas que están involucradas en otros déficits asociados, como la pérdida de visión del color. La lógica es simple. Primero, tome un número grande de pacientes con alexia y compute la intersección de las lesiones en el espacio tridimensional. Esta información, promediada a partir de muchos cerebros, elimina la aleatoriedad espacial inherente a las apoplejías y aísla los territorios corticales más frecuentemente asociados a un déficit de lectura. En segundo lugar, sustraiga las lesiones de otro grupo de pacientes que *no* sufren alexia. El resultado es una imagen computarizada que señala los sitios donde las lesiones provocan de manera selectiva déficits de lectura.

Este análisis, bosquejado en la figura 2.1, sugiere que las regiones más posteriores del hemisferio izquierdo no tienen un papel selectivo en la lectura. Esas regiones occipitales están frecuentemente dañadas en los aléxicos puros, pero también en pacientes que no tienen un déficit de lectura. Efectivamente, se sabe que están involucradas en las etapas tempranas del análisis visual que no son específicas de la lectura, sino que contribuyen al reconocimiento visual de cualquier forma, color u objeto. Por tanto, un ataque cerebral que afecta solamente estas áreas posteriores provoca trastornos visuales generales. Los pacientes típicamente experimentan pérdida de visión en parte de su campo visual, y pueden estar parcial o totalmente ciegos ante cualquier estímulo que se les presente a la derecha de su punto de fijación. A menudo les parece difícil ver el lado derecho de las palabras y programar movimientos oculares en el lado derecho. Estos déficits visuales pueden volver más lenta la lectura, en especial de oraciones, que requieren varios movimientos oculares, pero no deben confundirse con alexia pura propiamente dicha (Leff y otros, 2001).

El viejo modelo neurológico de la lectura

(según Déjerine, 1892; Geschwind, 1965)



Una visión moderna de las redes corticales para la lectura

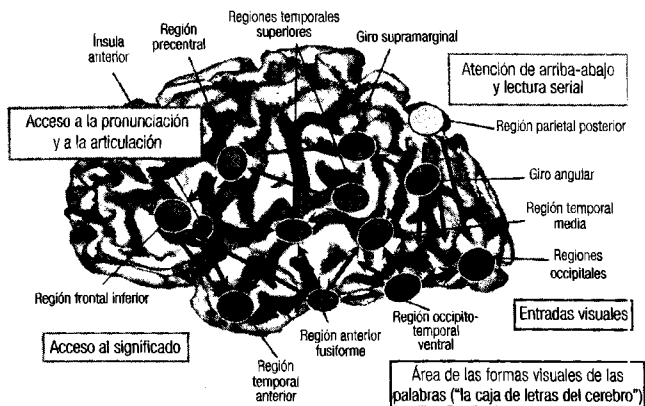


Figura 2.2. El modelo neurológico clásico de la lectura (arriba) se reemplazó con un modelo de procesamiento en paralelo y "tupido" (abajo). El área témporo-occipital de la caja de letras identifica la forma visual de las cadenas de letras. Luego distribuye esta información visual invariante a numerosas regiones dispersas por el hemisferio izquierdo que codifican el significado de las palabras, los patrones de sonido y la articulación. Las regiones que están en verde y naranja no son específicas de la lectura: contribuyen principalmente al procesamiento de la lengua hablada. Aprender a leer consiste, entonces, en desarrollar una interconexión eficiente entre áreas visuales y áreas del lenguaje. Todas las conexiones son bidireccionales. Su organización detallada todavía no se conoce bien; de hecho, la conectividad cortical es probablemente mucho más rica de lo que se sugiere en este diagrama.

El área crítica para la alexia pura está situada unos centímetros hacia el frente del polo occipital, en la parte más baja del hemisferio izquierdo. Esta región, que tiene un rol esencial en este libro, se conoce con diferentes nombres. Los anatomistas la llaman *área t mporo-occipital izquierda*, porque está ubicada en el límite de los lóbulos temporal y occipital del cerebro, dentro de un surco en el manto cortical llamado “surco t mporo-occipital lateral” (véase la figura 2.2 para entender dónde están localizadas estas regiones). Laurent Cohen y yo hemos sugerido que se la llame * rea de la forma visual de las palabras*, expresión que se ha vuelto común en la literatura científica y enfatiza su rol esencial en el análisis visual de la forma de las letras y las palabras.²⁰ Sin embargo, ambos términos son un trabalenguas. En este libro, en aras de la simplicidad, voy a referirme a ella como “caja de letras del cerebro”, designación que encapsula bellamente lo que creemos que hace esta región:   se ocupa de las letras que llegan! Como veremos, esta área del cerebro efectivamente tiene un papel crucial en la identificación rápida de la cadena de letras y su transmisión a las áreas más altas que computan la pronunciación y el significado.

A diferencia de D j rine, ahora creemos que el reconocimiento visual de las letras no descansa primariamente en el giro angular, en el sector superior de la parte posterior del cerebro, sino en esta área claramente definida de la “caja de letras” en la cara más inferior del cerebro. El error de D j rine, entonces, puede muy probablemente atribuirse a una característica bastante inusual en la lesión del señor C. A diferencia de la mayoría de los pacientes con alexia pura, el área de la caja de letras del señor C. no estaba directamente destruida, sino que tal vez estuviese sólo desconectada, como sugirió el propio D j rine. Sólo estaba equivocado respecto de la localización de la región desconectada, que en realidad se ubica en el sistema visual ventral más que en la región más dorsal del giro angular.

Como sabemos ahora, hay por lo menos tres formas en que las lesiones pueden inhibir el funcionamiento normal en el área de la forma visual de las palabras (algunos ejemplos, constan en Cohen y otros, 2003, y en su bibliografía). El caso más simple es obviamente la destrucción

20 Cohen y otros (2000, 2002), Dehaene y otros (2002), Gaillard, Naccache y otros (2006). Debería tenerse en cuenta que el término “ rea de la forma visual de las palabras” y sus connotaciones todavía son un tema de debate (véanse Price y Devlin, 2003; Cohen y Dehaene, 2004).

por una lesión directa. Sin embargo, esa región también puede desconectarse antes de que llegue la información –y por lo tanto, quedar privada de entrada visual, como en el caso del señor C.–; o después de esa transmisión, de modo que no puede enviar mensajes a otras regiones del cerebro. En cualquiera de los casos, el resultado es el mismo e involucra una incapacidad severa para reconocer la palabra escrita.

Hay un punto más fundamental en el cual Déjerine también estaba equivocado. Él subestimó enormemente la complejidad general de la arquitectura cerebral para la lectura. Déjerine, y varios científicos después que él, como el neurólogo de Harvard Norman Geschwind (1965), pensaban en términos de una simple cadena de procesamiento. Aseguraban que las palabras escritas entraban al polo occipital en forma de patrones visuales y luego se enviaban al giro angular para que hicieran contacto con las imágenes visuales de las palabras. La activación se propagaba entonces al área de Wernicke, el asiento de las imágenes auditivas de las palabras, luego al área de Broca, donde se recuperan los patrones de articulación, y por último a la corteza motora, que controla los músculos. El diseño era serial, simple y lineal, muy similar a la línea de producción en una fábrica. De hecho, recuerda a las analogías mecánicas del siglo XIX, que comparaban el funcionamiento cerebral con la propagación de la electricidad o el flujo del vapor en una locomotora. Había, por supuesto, un nexo filial entre estos primeros esquemas neurológicos del funcionamiento del cerebro y los diagramas hidráulicos utilizados por René Descartes para describir los reflejos como la circulación de “espíritus animales” a través de tuberías en nuestros cuerpos. El arco reflejo fue la metáfora dominante a lo largo de muchas generaciones.

No puede culparse a Déjerine por su imposibilidad de anticipar un siglo de investigación en psicología y neurociencia. Hoy, una versión “densa” del cerebro, con numerosas funciones que operan en paralelo, ha reemplazado al antiguo modelo serial. Por un lado, ahora notamos, luego del intento por programar el reconocimiento visual de formas en computadoras, que la visión es compleja y no puede reducirse a una simple cadena de “imágenes” cerebrales. Hacen falta muchas operaciones intrincadas para el reconocimiento de un solo carácter. El análisis visual es apenas el primer paso en la lectura. Posteriormente, debe ponerse en contacto una variedad de representaciones: las raíces de las palabras, su significado, sus patrones sonoros, sus esquemas motores de articulación. Cada una de estas operaciones típicamente demanda la activación simultánea de varias áreas corticales diferentes, cuyas co-

nexiones no están organizadas en cadenas lineales. Todas las regiones del cerebro operan en forma simultánea y coordinada, y sus mensajes se entrecruzan constantemente. Todas las conexiones son también bidireccionales: cuando una región A se conecta con una región B, también existe la proyección inversa de B a A.

Estos principios anatómicos muy básicos me han permitido esbozar una nueva versión de cómo luce el cerebro de un lector (figura 2.2). Se sabe que todas las regiones señaladas en este gráfico contribuyen a la lectura de palabras. Sin embargo, mi esquema debe considerarse provisorio (paradójicamente, todavía es muy simple y probable que le falten muchas áreas esenciales y conexiones). A diferencia del diagrama de Déjerine, el mío no ilustra una visión serial de la organización del cerebro, sino un esquema en que varias áreas pueden activarse a la vez. Como resultado, las contribuciones específicas de cada área al proceso de lectura todavía son objeto de debate. A pesar de la batería de instrumentos de imágenes de que disponemos, todavía tenemos dificultades para asignar funciones precisas a cada región de nuestro diagrama, porque todas operan simultáneamente e interactúan a gran velocidad unas con las otras. Déjerine situó sin inconveniente imágenes auditivas, visuales y motoras en varios lugares de la corteza, pero nosotros no podemos hacerlo. Tenemos, sin duda, una visión más refinada del funcionamiento de la corteza, pero para el neuropsicólogo esto complica las cosas y hace que nos preguntemos si llegará el día en que podamos alcanzar un entendimiento intuitivo de un circuito tan complejo.

Todavía no está claro si el científico podrá alguna vez entender completamente el cerebro del lector. Sin embargo, nuestra comprensión de los circuitos del cerebro para la lectura, y en especial de la "caja de letras" de entrada del cerebro ha progresado claramente. Ahora sabemos que esta área de entrada visual ocupa una localización estratégica y es un embudo a través del cual toda la información visual sobre las palabras escritas parece fluir antes de verse distribuida hacia una gran variedad de áreas del hemisferio izquierdo. Esta posición estratégica explica por qué una lesión en esta región tiene como resultado, como en el caso del señor C., una pérdida total del procesamiento de la palabra escrita, como si la palabra escrita se hubiera convertido en una serie de manchas sin sentido. ¿Pero cuáles son los principios que permiten que esta región funcione?

Cómo decodificar el cerebro lector

Durante más de veinte años, las técnicas de neuroimágenes funcionales han revolucionado el estudio del cerebro humano ya que nos permiten, literalmente, “leer en el cerebro”. Su enorme potencial está en su capacidad para volver visible la actividad cerebral en forma directa, en el momento preciso en que un voluntario humano realiza una operación mental como la lectura. De diversas formas, el uso de experimentos con imágenes es tanto más directo que el estudio de los datos que las lesiones nos aportan. ¿Quién puede decir hasta qué punto se reorganiza el cerebro luego de una lesión? Los efectos de una lesión pueden percibirse lejos del área afectada, porque el daño puede privar de información a otras regiones al desconectarlas. En las semanas que siguen a una lesión cerebral no es inusual observar una reorganización considerable de la actividad cerebral conforme el paciente recupera funciones perdidas, por medio de circuitos radicalmente diferentes de aquellos utilizados por un cerebro sano. Por último, las lesiones son impredecibles. Pueden ser extensas y su localización estar sesgada por la distribución anatómica de las arterias, así que no se puede confiar en ellas como indicadores precisos de la organización funcional del cerebro sano. Si no tuviéramos medios para visualizar el cerebro humano normal, nuestra tarea sería muy similar a la de un aprendiz que intenta comprender cómo funcionan los relojes estudiando relojes rotos.

Las imágenes cerebrales están basadas en un principio simple, anticipado ya en siglo XVIII por Antoine-Laurent Lavoisier, químico francés. Como cualquier otro órgano del cuerpo, el cerebro consume más energía cuando está trabajando que cuando está en reposo. En su “*Premier mémoire sur la respiration des animaux*” [Primera memoria sobre la respiración de los animales] (1789), escrita en colaboración con su asistente Armand Séguin, Lavoisier previó que esta idea simple podía aplicarse finalmente a la medición de la actividad cerebral:

Este tipo de observación conduce a comparar la aplicación de fuerzas que no parecerían estar relacionadas. Uno puede conocer, por ejemplo, a cuántos gramos de peso corresponden los esfuerzos de un hombre que pronuncia un discurso o un intérprete musical que toca su instrumento. Uno podría incluso evaluar los aspectos mecánicos involucrados en el trabajo del filósofo mientras reflexiona, del hombre de letras mientras escribe, del músico mientras compone. Estos efectos, a los cuales se considera puramente morales, tienen

algo físico y material que permite, en este aspecto, compararlos con los de un obrero.

Doscientos años pasarían antes de que se pudiese en práctica esta idea simple. En 1988, Steve Petersen, Michael Posner, Marcus Raichle y sus colegas fueron los primeros en visualizar qué áreas del cerebro consumen energía cuando leemos (Petersen y otros, 1988; véanse también Posner y otros, 1988; Petersen y otros, 1989; Petersen y otros, 1990). Utilizaron la tomografía por emisión de positrones (PET) para revelar la organización funcional de las áreas del lenguaje en el cerebro. Lavoisier no podría haber previsto la combinación peculiar de psicología y física nuclear que esta técnica requeriría. A los voluntarios les inyectan una pequeña cantidad de agua radiactiva en la que el átomo de oxígeno estándar (^{16}O) se reemplaza por oxígeno 15. Este líquido rápidamente se mezcla con el torrente sanguíneo y se esparce por todo el cuerpo. En el cerebro, en particular, la radiactividad se acumula en regiones en las que el flujo sanguíneo es más rápido, que son, casualmente, aquellas en las que la actividad cerebral es más intensa. Como resultado, los picos locales de radiactividad reflejan directamente las zonas calientes del cerebro.

Luego de unas pocas docenas de segundos, los átomos de oxígeno 15, que están dentro del cerebro del voluntario, espontáneamente regresan a su estado estable (oxígeno 16) al emitir un positrón (una partícula de antimateria que es el reflejo exacto del electrón). Cuando un positrón colisiona con un electrón, se aniquilan entre sí y emiten dos fotones de alta energía. El escáner detecta esas partículas de luz mientras escapan del cuero cabelludo en direcciones opuestas. Haces de cristales localizados alrededor de la cabeza del sujeto alimentan con esta información a una computadora poderosa que, a su vez, reconstruye el lugar donde ocurrió inicialmente la desintegración. Por último, se obtiene una imagen 3D que revela, corte a corte, la distribución precisa de la energía consumida por el cerebro (de aquí el término "tomografía", que proviene de las palabras griegas "tomos" [corte] y "graphein" [dibujar]).

Desde el punto de vista psicológico, Petersen y sus colaboradores también innovaron al pedir a los voluntarios que realizaran una serie de tareas de complejidad creciente. Primero tomaron imágenes del cerebro en reposo, cuando la persona no estaba estimulada y no estaba pensando en nada en particular. Luego midieron la actividad cerebral cuando el voluntario veía palabras escritas y después cuando repetía en voz alta palabras escritas o habladas. Finalmente, hacían una última medición cuando la misma persona generaba asociaciones verbales al pensar en

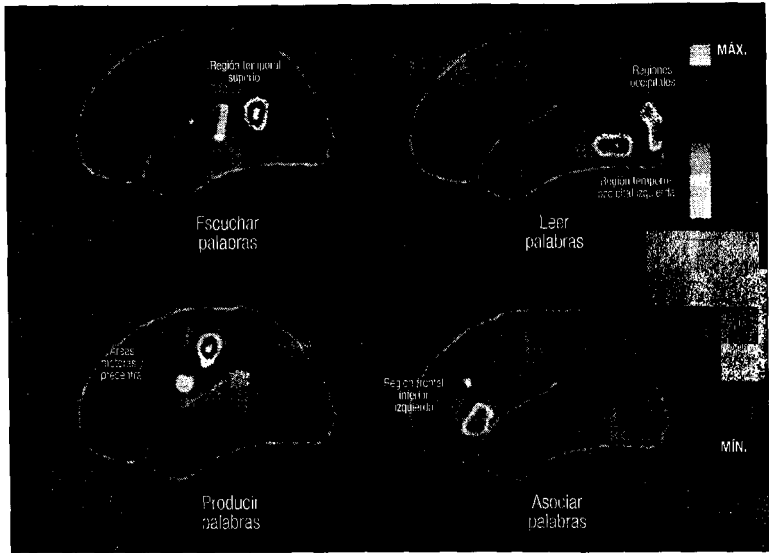


Figura 2.3. Una imagen histórica: las áreas cerebrales del lenguaje, tal como las reveló por primera vez una PET (datos de Petersen y otros, 1989; imagen cortesía de Marcus Raichle). En relación con la fijación de un pequeño punto, la lectura silenciosa (arriba a la derecha) activa procesos de reconocimiento visual de palabras localizados en la parte posterior del hemisferio izquierdo. Según la tarea, la información se transmite a regiones que codifican los sonidos del habla (arriba a la izquierda), la producción del habla (abajo a la izquierda) o la manipulación del significado de las palabras (abajo a la derecha). *Material utilizado con permiso de Mike Posner y Marc Raichle.*

un verbo que pudiera estar conectado con cada una de las palabras presentadas (por ejemplo, “comer” si el estímulo era “torta”). Los autores esperaban, al sustraer dos condiciones consecutivas, tener posibilidades de identificar las regiones del cerebro involucradas sucesivamente en el reconocimiento auditivo y visual de palabras, la articulación y la manipulación mental del significado de las palabras.

Las imágenes del experimento de Petersen eran tan espectaculares que aparecieron en las primeras planas de los diarios de todo el mundo y desde entonces se volvieron parte integral de la ciencia del cerebro. Por primera vez en la historia, las áreas responsables del lenguaje

habían sido fotografiadas en el cerebro humano vivo (figura 2.3). Para aportar mayores certezas, más tarde las imágenes deberían perfeccionarse. Los hallazgos más importantes, sin embargo, se replicarían. Cada vez que los sujetos miraban las palabras escritas, se activaba la región dedicada a la visión, situada en la parte posterior de la cabeza. También aparecía una región pequeña del hemisferio izquierdo, justo en el límite entre los lóbulos occipital y temporal, que coincidía muy bien con el área que anteriormente denominamos "caja de letras del cerebro". Escuchar una palabra hablada no ponía en movimiento estas regiones, sino que suscitaba actividad en un conjunto distinto de lugares en la corteza temporal media y superior, correspondientes al procesamiento de la audición y percepción del habla. La producción de una palabra hablada, por otro lado, estimulaba una región anterior del hemisferio izquierdo, cercana al área inicialmente vinculada con la producción de habla por el neurólogo francés Paul Broca en el siglo XIX, así como las áreas motoras derecha e izquierda. Por último, las asociaciones semánticas movilizaban otra región más, la corteza prefrontal interior izquierda, frecuentemente asociada con el pensamiento creativo.

De este conjunto de áreas, sólo una, la región t́emporo-occipital izquierda, parecía tener un rol central y específico en la lectura. Sorprendentemente, su localización coincidía de manera muy exacta con el sitio identificado como sustrato de la alexia pura, gracias al análisis de lesiones. Petersen y sus colegas notaron que únicamente palabras escritas estimulaban esta región, que no era parte de las áreas visuales de bajo nivel excitadas por un patrón visual como, por ejemplo, un tablero de damas. Según ellos propusieron, esta región sirve como nexo entre el análisis visual temprano y el resto del sistema del lenguaje. Es el filtro a través del cual debe fluir la información visual para así entrar en el sistema del lenguaje: analiza selectivamente la presencia de letras en las imágenes que ingresan y las envía a otras áreas del cerebro que a continuación las transforman en sonido y significado.

La lectura es universal

Otra técnica de imágenes ha suplantado ampliamente a la PET, y ya ha corroborado el papel clave que tiene el área de la forma visual de las palabras en la lectura. Se llama resonancia magnética funcional o, para abreviar, fMRI. Este método extraordinariamente flexible presenta dos ventajas clave sobre la PET: está disponible en cualquier hospital y es to-

talmente inofensivo, ya que no requiere la inyección de sustancias radiactivas. En la resonancia magnética funcional, las fluctuaciones en el contenido de oxígeno en sangre modulan la señal de la resonancia magnética, que la máquina de fMRI detecta. Las células sanguíneas contienen una alta concentración de hemoglobina, molécula responsable de transportar oxígeno. En términos generales, si una molécula de hemoglobina no transporta oxígeno, se comporta como un pequeño imán y altera el campo magnético local, reduciendo así la señal recibida por la máquina de fMRI. Cuando una molécula de hemoglobina contiene oxígeno, se hace inmediatamente transparente en el campo magnético, un cambio que la máquina percibe como un aumento pequeño pero medible en la señal de resonancia.

Estas fluctuaciones detectables en el contenido de oxígeno de la sangre nos permiten medir la actividad cerebral. Los vasos sanguíneos y las neuronas están estrechamente ligados. Siempre que una región cerebral se activa, sus vasos sanguíneos se dilatan y luego de uno a cinco segundos el área en cuestión recibe un flujo fresco de sangre oxigenada. Al medir la oxigenación de la sangre, la fMRI indica cómo aumentó la actividad neural en los segundos previos. Además, provee una imagen tridimensional de cualquier región del cerebro. Mi colega francés Denis Le Bihan, uno de los expertos más eminentes del mundo en resonancia magnética, compara este método con espiar a un jardinero para poder prever dónde van a germinar las semillas. Sin saber realmente dónde fueron plantadas, podemos encontrarlas si observamos adónde lleva el jardinero su regadera. Seguir el flujo sanguíneo es una forma comparativamente indirecta de monitorear las neuronas cuando están trabajando; un método que nos hace dar un rodeo, pero, de hecho, es altamente sensible.

Además de sus otras ventajas, la fMRI es muy rápida. Una sola fMRI puede proveer muchos miles de imágenes consecutivas del cerebro entero con una resolución espacial de unos pocos milímetros. El método produce una imagen del cerebro completo cada dos o tres segundos, a diferencia de la frecuencia de la PET, que es de una cada doce minutos. La fMRI también es notablemente sensible. No es necesario promediar los hallazgos de largos períodos de tiempo y de docenas de sujetos. Una sola palabra escrita es suficiente para impulsar un destello transitorio de activación en el área de la caja de letras. Unos pocos minutos de información son suficientes para proyectar la intensa actividad cerebral que las palabras escritas evocan en la corteza visual ventral izquierda de cualquier lector.

Gracias a esta sorprendente herramienta, ahora podemos constatar en qué medida la red cerebral para la lectura varía de una persona a otra. A partir de todos los sujetos humanos que hemos escaneado, encontramos que el área visual de las formas de las palabras siempre se encuentra en la misma posición en el cerebro visual ventral. La localización exacta, por supuesto, varía marginalmente de una persona a otra, porque los detalles de los pliegues corticales individuales son únicos, de la misma manera en que dos hojas de papel arrugado nunca tienen la misma forma. De cualquier modo, todos estamos equipados con un área de "caja de letras" que está invariablemente en casi la misma posición.

Los científicos utilizan dos sistemas para trazar el mapa de las localizaciones corticales. En el primero de estos, desarrollado gracias a dos siglos de análisis post mórtem, se identificaron y etiquetaron los relieves más importantes del cerebro, como los cráteres de la Luna. En estos términos, siempre se dice que el área de "caja de letras" cae en el surco tèmporo-occipital lateral, una grieta que corre a lo largo de la región fusiforme del hemisferio izquierdo (figura 2.4) (Dehaene y otros, 2002). Un segundo sistema, menos dependiente de etiquetas anatómicas abstractas, es invención del cirujano francés Jean Talairach, y luego refinada por los investigadores del Instituto Neurológico de Montreal. Es un sistema de posicionamiento geométrico, parecido al GPS terrestre, que consiste en tres ejes perpendiculares normalizados para el tamaño del cerebro. En este sistema, la localización del área de la caja de letras resulta ser notablemente similar, tanto entre individuos como entre laboratorios experimentales, con diferencias de no más de unos 5 mm.²¹ Incluso los cerebros de los lectores chinos y japoneses, como veremos luego, están equipados con un área del cerebro específica para la lectura, y su posición es aproximadamente la misma que la nuestra.²² Es importante mencionar que la dirección en la cual leemos (de izquierda

21 Cohen y otros (2000). En el sistema coordinado del Instituto Neurológico de Montreal, las medidas son: 42 mm en el eje lateral, 57 mm en la dirección posterior y 12 mm en el eje vertical.

22 En la figura 2.4 se puede discernir una fuente de variabilidad: si bien la región tèmporo-occipital izquierda se activa en todos los sujetos que hemos estudiado, la activación en la región correspondiente del hemisferio derecho sólo es evidente en algunos de ellos. Por qué existe esta variabilidad todavía no se entiende completamente, pero puede predecir la posibilidad de recuperación de cierta capacidad de lectura luego de un infarto del hemisferio izquierdo (Cohen, Henry y otros, 2004).

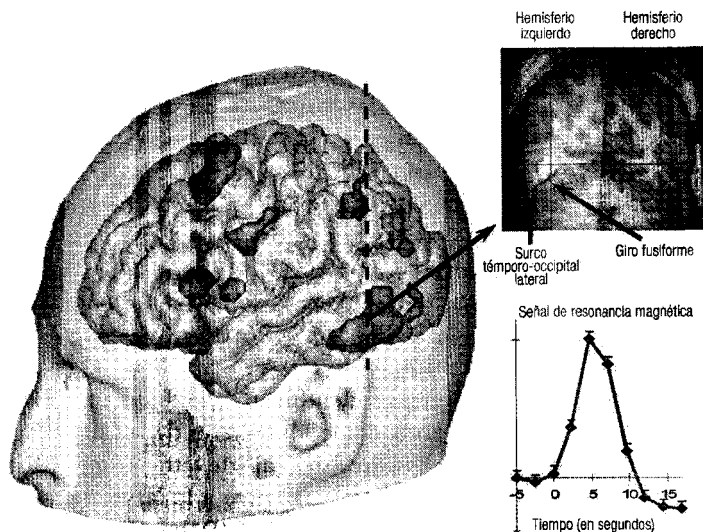


Figura 2.4. La resonancia magnética funcional (fMRI) puede localizar las áreas del cerebro involucradas en la lectura en unos pocos minutos. Los participantes leen las palabras que se les presentan a intervalos aleatorios. Luego de cada palabra, las áreas de la lectura muestran un aumento característico en la señal de resonancia magnética, que llega a un pico aproximadamente cinco segundos después. La red activa varía según la tarea exacta y el carácter del estado de control. Sin embargo, siempre incluye el área de las formas visuales de las palabras, la “caja de letras del cerebro”. Esta región está sistemáticamente situada en la profundidad del surco tampo-occipital lateral izquierdo, al lado del giro fusiforme.

a derecha o de derecha a izquierda) no parece afectar su posición en el hemisferio izquierdo. La localización de la región no cambia, permanece en el borde de la cisura tampo-occipital izquierda (Hasson y otros, 2002), incluso en lectores que leen de derecha a izquierda.

Que la localización de esta activación cerebral sea idéntica en cada cerebro humano puede parecer asombroso. La lectura es una actividad cognitiva, social y cultural que data de cinco mil años atrás, y su forma superficial difiere de una cultura a otra. Más aún, nuestro dominio individual de la lectura varía enormemente de persona a persona, según cómo hayamos aprendido a leer. Algunos simplemente fuimos balbu-

ceando al ritmo de un entrenamiento fónico en que nos pedían que conectáramos sonidos a letras; otros, educados con el sistema Montessori, seguimos con nuestros dedos el trazo de letras escritas sobre papel de lija; mientras que a otros nos sometían a las penurias del llamado método de palabra completa. Lo que es increíble es que, a pesar de estas importantes diferencias en la forma en que aprendimos a leer, todos recurrimos a la misma área del cerebro para reconocer la palabra escrita.

Un mosaico de preferencias visuales

Las propiedades funcionales de la región de la caja de letras también son similares entre una persona y otra. En la figura 2.5, los siete cerebros escaneados muestran activación selectiva para las palabras escritas, sin rastros de activación para la presentación oral de las mismas palabras (Dehaene y otros, 2002; Cohen, Jobert y otro, 2004). Este hallazgo estable, ya observado por Steve Petersen y sus colegas en su estudio de 1998, demuestra claramente que en la mayoría de los casos el habla no estimula esta región, y esta parece entonces exclusivamente reservada a la palabra escrita. Hay una excepción, sin embargo, que ocurre cuando a la gente se le pide que deletree una palabra en su ojo de la mente. Por ejemplo, se les podría preguntar si la palabra hablada contenía una letra "descendente" como "p", "q" o "j", cuyos trazos terminan debajo de la línea. En esos casos, el área de la caja de letras es levemente activada por las palabras habladas, sólo porque los participantes se imaginan la palabra escrita (Booth y otros, 2002; Cohen, Jobert y otro, 2004). Esto también ocurre cuando los sujetos japoneses tienen que pensar en escribir una palabra (Tokunaga y otros, 1999; Nakamura y otros, 2000). Por último, cuando se les pide a las personas que se concentren en la tenue diferencia entre dos sonidos del habla, como *día* y *tía*, el área de la caja de letras se ilumina nuevamente, probablemente porque el acceso a las letras escritas "d" y "t" ayuda a la diferenciación de los sonidos (Burton, Small y Blumstein, 2000). Lo que estos ejemplos tienen en común es que aparentemente requieren un acceso de arriba abajo de los sonidos del habla a las letras. En ellos, una señal que se dirige hacia atrás probablemente viaja a través de las rutas de lectura en la dirección opuesta a la que usualmente se usa para la lectura. Pero, más allá de estos casos peculiares, la región de la caja de letras generalmente reacciona solamente con las palabras escritas e ignora las habladas.

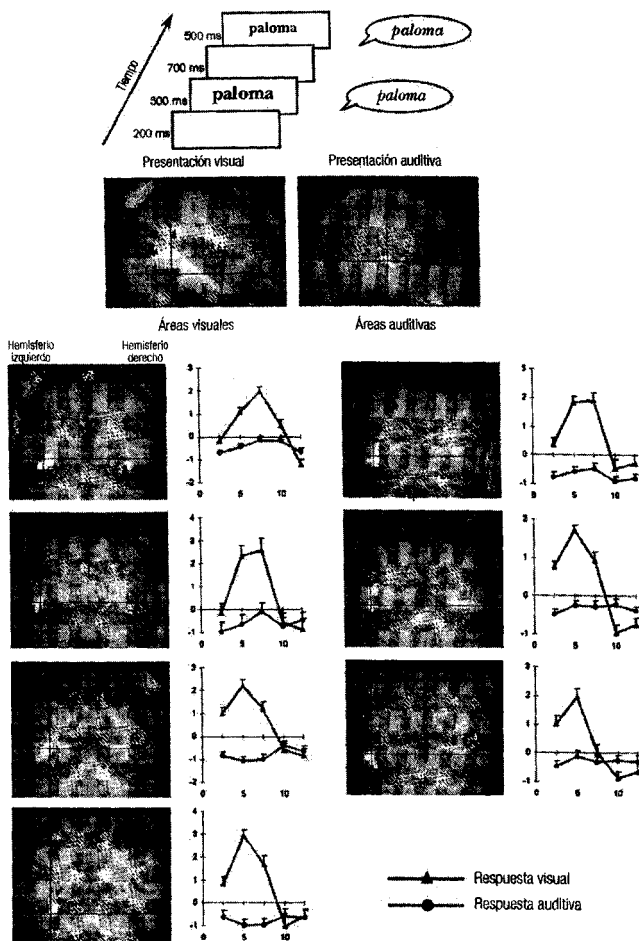


Figura 2.5. La activación del área de las formas visuales de las palabras puede observarse fácilmente en cualquier persona alfabetizada. En este experimento, los participantes veían u oían un par de palabras y tenían que decidir si eran idénticas o diferentes. En siete lectores diferentes, las palabras escritas activaban la región temporo-occipital izquierda, “la caja de letras del cerebro”, en una localización sorprendentemente similar a pesar de la variabilidad de los pliegues de la corteza. Nótese que las palabras habladas no activaron esta región (tomado de Dehaene y otros, 2002). Utilizado con el permiso de *Wolters Kluwer/Lippincott, Williams & Wilkins*.

Toda la evidencia, entonces, apunta hacia el hecho de que esta región está dedicada al análisis visual. La pregunta es si es un área multifuncional que procesa cualquier objeto visual o si está especializada en la lectura. La respuesta, otra vez, es sorprendente: nuestro cerebro divide el trabajo visual en categorías, procesadas por sendas áreas de la corteza. Entonces, una porción del área prefiere la escritura a una amplia variedad de otros estímulos visuales, y esta preferencia está presente universalmente, en todos los individuos, en el mismo lugar. De modo preferente, el reconocimiento de casas y paisajes apela a las regiones más cercanas a la línea media del cerebro. Cuando uno se mueve, en trayectoria lateral, hacia los lados del cerebro, otras regiones prefieren caras a las palabras escritas. Por último, en el borde del cerebro, un sector entero responde a objetos y herramientas (figura 2.6) (Ishai y otros, 1999, 2000; Haxby y otros, 2000, 2001; Levy y otros, 2001; Hasson y otros, 2002, 2003).

La neurorradióloga Aina Puce fue la primera científica en utilizar la sensibilidad y la alta resolución espacial de la fMRI para explorar este mosaico visual en un conjunto de cerebros individuales. A los voluntarios ella les mostraba rápidamente caras o cadenas de letras sin sentido como "XGFST", y les pedía que las examinaran cuidadosamente. En cada caso, dos pequeñas regiones especializadas se activaban en las mismas localizaciones relativas: las caras preferentemente estimulaban una zona cortical inferior en el giro fusiforme, mientras que las palabras excitaban una región más lateral justo al lado de este, en la cisura tèmpero-occipital (figura 2.7) (Puce y otros, 1996). Este resultado es sorprendente. Incluso si las regiones del cerebro terminan por especializarse en una de estas categorías, cabría esperar que la división del trabajo fuese un procedimiento azaroso con variaciones aleatorias de una persona a otra. No es así: la adquisición de la lectura parece ser un proceso altamente restringido, que de manera sistemática canaliza información a las mismas zonas calientes del cerebro.

Deberíamos ser cautelosos, sin embargo, para no hacer demasiado énfasis en lo especializada que está la corteza visual. En la aproximada escala espacial disponible con fMRI, algunas porciones de esa corteza muchas veces muestran una preferencia por algunas categorías de estímulos, pero no completa dedicación a ninguno de ellos. Como inicialmente demostraron Jim Haxby y sus colaboradores en el Instituto Nacional de Salud, nuestra corteza no parece estar estrictamente subdividida en territorios discretos con fronteras nítidas. Más bien, las preferencias visuales se superponen (Haxby y otros, 2001; Grill-Spector, Sayres y Ress,

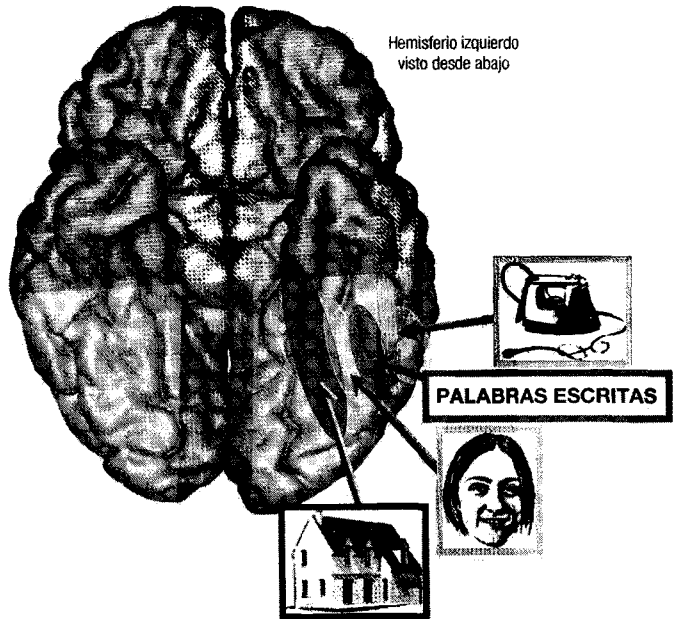


Figura 2.6. La parte inferior del cerebro está cubierta por un mosaico de detectores visuales especializados. Cada región cortical responde preferentemente a una categoría determinada de objetos. Este patrón de preferencia ocurre en el mismo orden en todos los individuos, de casas a caras, palabras, y luego objetos. La lectura siempre activa un área que está localizada entre los picos de respuesta a caras y a objetos (tomado de Ishai y otros, 2000; Puce y otros, 1996). *Adaptado con permiso de Alomit Ishai.*

2006). Entonces, incluso dentro de las regiones que responden mayoritariamente a rostros, la visión de otras categorías de objetos –por ejemplo, palabras, herramientas o animales– provoca actividad sustancial. Pero debemos tener en mente que cada uno de los cubos elementales o vóxeles, visualizados con la fMRI, mide hasta dos o tres milímetros por lado. Esto es grande en términos celulares, y puede constar de al menos un millón de neuronas. No es sorprendente, entonces, que todas estas células no exhiban las mismas preferencias. Cuando se aumenta la resolución espacial para resolver detalles tan pequeños como de un milímetro, la selección categorial se hace espectacular, con algunos sectores de la cor-

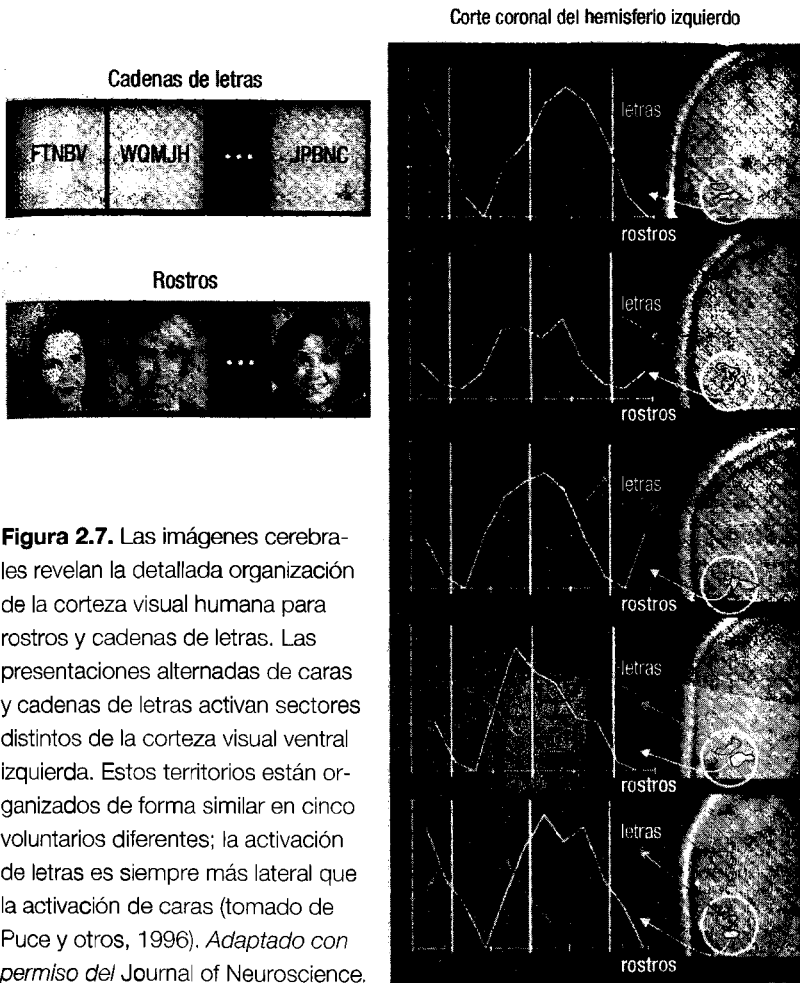


Figura 2.7. Las imágenes cerebrales revelan la detallada organización de la corteza visual humana para rostros y cadenas de letras. Las presentaciones alternadas de caras y cadenas de letras activan sectores distintos de la corteza visual ventral izquierda. Estos territorios están organizados de forma similar en cinco voluntarios diferentes; la activación de letras es siempre más lateral que la activación de caras (tomado de Puce y otros, 1996). *Adaptado con permiso del Journal of Neuroscience.*

teza que responden sólo a una categoría, por ejemplo, caras, y nada más (Grill-Spector, Sayres y Ress, 2006). En los animales, los registros directos de neuronas individuales dentro de un sector como ese muestran que la vasta mayoría de ellas prefiere las caras (Tsao y otros, 2006).

La imagen que presentan estos estudios de la corteza visual es un mosaico de neuronas, cada una especializada en determinada categoría de formas. Las neuronas con preferencias similares tienden a formar haces, aunque suelen estar un poco entremezcladas, y crean zonas de prefe-

rencia parcial. Distintas zonas prefieren rostros, objetos, dígitos o letras. Para identificarlas, los científicos las etiquetan como “el área de los rostros” o “el área de las formas de palabras”. Estas etiquetas son útiles e indicativas, pero deberíamos recordar que todo lo que podemos ver realmente son respuestas óptimas a caras o a palabras, no las neuronas subyacentes. Estas cotas cuya posición es mayormente regular dicen una cosa, pero detrás hay otras cimas menos prominentes que acaso sean igual de esenciales para la lectura o para el reconocimiento de rostros. En el análisis final, cada categoría visual codificada es un complejo paisaje de valles y colinas que cubre la superficie inferior de los dos hemisferios, y da prueba de la increíble sutileza de la visión.

¿Cuán rápido leemos?

Además de la topografía cortical, las palabras y las caras también difieren en sus hemisferios preferidos. Cuando reconocemos una palabra, el hemisferio izquierdo tiene el rol dominante. Para los rostros, el hemisferio derecho es esencial. Si bien inicialmente los dos hemisferios son estimulados del mismo modo, las palabras se transmiten con rapidez al izquierdo y las caras al derecho, en tan sólo unas pocas docenas de milisegundos. Esta lateralización es otro rasgo invariante y esencial de la lectura.

Si nos hubiéramos visto en la obligación de basarnos solamente en PET y fMRI, nunca habríamos descubierto la velocidad del proceso de selección de hemisferios. Uno y otro método, que miden el flujo sanguíneo y la oxigenación, son muy lentos para la visualización en tiempo real de la actividad cerebral. Cuando una región cortical se activa, pasan varios segundos antes de que aumente el flujo sanguíneo. Como los astrónomos que registran la luz emitida décadas antes por estrellas distantes, la fMRI solamente nos permite ver actividad cerebral que ocurrió varios segundos atrás. Estos retrasos y distorsiones limitan severamente nuestra observación de la actividad cerebral.

Por fortuna, otras técnicas de imágenes, la electro- y la magnetoencefalografía, pueden monitorear la actividad cerebral en tiempo real. Operan con el principio de que la actividad neuronal genera respuestas eléctricas y magnéticas que pueden detectarse de inmediato a distancia. Las neuronas, gracias a sus dendritas, recogen los cambios de voltaje recibidos de miles de otras neuronas. Cuando muchas neuronas, todas alineadas prolijamente en una formación perpendicular a la superficie cortical, reciben descargas eléctricas al mismo tiempo, la cantidad total

de corriente disponible es suficiente para ser medida desde fuera del cráneo. La medición resultante constituye el famoso electroencefalograma, o EEG, para abreviar.

El electroencefalograma está basado en una vieja idea, que aplicó por primera vez al cerebro humano Hans Verger en 1924. En esencia consiste en el uso de un voltímetro para medir las diferencias de voltaje generadas en la superficie del cráneo por las corrientes neurales. Como estos voltajes son muy pequeños, en el rango de un millonésimo de voltio, se requiere un amplificador sensible. En 1968, David Cohen y sus colegas en el MIT diseñaron otro método más sofisticado, llamado magnetoencefalograma, o MEG. Esta técnica detecta cambios minúsculos en campos magnéticos producidos por corrientes neurales. Las señales magnéticas del cerebro son extremadamente débiles, en el orden de unos pocos femtoteslas, o un billón de veces más pequeños que el campo magnético de la tierra, por lo que el método tenía que ser particularmente sensible. Aunque es una técnica costosa, su precisión espacial, que excede enormemente la del electroencefalograma, la vuelve invalorable para visualizar la actividad cerebral en tiempo real.

Tanto el EEG como el MEG permiten tener una resolución temporal excelente, porque la transferencia de señales electromagnéticas del cerebro a los sensores utilizados para medirlos es virtualmente instantánea. Uno puede, entonces, obtener una serie de instantáneas del cerebro en acción. Cuando se los aplicó a la lectura, estos métodos revelaron la extraordinaria velocidad con la cual el cerebro clasifica imágenes visuales. Antti Tarkiainen y sus colegas en la Universidad de Helsinki utilizaron MEG para medir la actividad magnética en el cerebro mientras los voluntarios veían palabras y caras (figura 2.8) (Tarkiainen y otros, 1999; Tarkiainen, Cornelissen y Salmelin, 2002). Sus resultados revelan dos instancias distintas del procesamiento visual en la corteza. En la primera, observada aproximadamente 100 milisegundos después de que la imagen aparecía inicialmente en la retina, los dos tipos de imágenes no podían diferenciarse: las palabras y las caras activaban regiones similares del polo occipital, en la parte posterior del cerebro. Estas regiones realizaban un análisis de primera pasada y probablemente extraían algunas líneas elementales, curvas y superficies de la imagen. En esta etapa, el cerebro no reconocía los tipos de estímulos con que se lo confrontaba. Sin embargo, sólo 50 milisegundos más tarde, se iniciaba la selección de las imágenes. Las palabras ahora evocaban una respuesta significativa fuertemente lateralizada en el hemisferio izquierdo. En cuanto a los

rostros, ocurría exactamente lo opuesto, ya que el potencial magnético claramente predominaba en el lado derecho de la cabeza.

El electroencefalograma también registra fácilmente estos eventos visuales tempranos. Se los ve como voltajes negativos que aparecen repentinamente en la parte posterior de la cabeza, más o menos a los 170 milisegundos. Para las palabras, su amplitud es mucho mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Una reconstrucción por computadora del punto donde estas ondas electromagnéticas se originan en la corteza las ubica cerca de la parte posterior de la cisura ténporo-occipital, exactamente donde encontramos el área de la caja de letras con la fMRI. Estas técnicas de imágenes, entonces, confirman nuestra creencia de que esta región tiene un papel temprano y específico en el reconocimiento visual de las palabras. Una vez que han ocurrido los primeros tramos de la visión, entran en juego sistemas especializados. Presumiblemente, la lectura y el reconocimiento de caras tienen demandas tan diferentes para nuestro sistema visual que este no podría satisfacerse con algoritmos genéricos de procesamiento de imágenes.

Electrodos en el cerebro

La medición de la actividad cerebral desde fuera del cráneo es adecuada, pero el sueño del neurocientífico siempre fue profundizar en el cerebro humano en sí mismo. Una investigación como esta ¿será alguna vez éticamente posible? Existe una técnica más invasiva que involucra contacto eléctrico directo con la superficie cerebral y provee una ventana única a la especialización cerebral para la lectura. Con esta técnica, los electrodos se colocan directamente sobre la corteza o incluso más profundo dentro del tejido cerebral. Un método como este, por supuesto, sólo puede aplicarse a ciertos pacientes específicos. Nunca se intenta sin un buen motivo clínico, y requiere consentimiento informado por el paciente. Su propósito principal es estudiar la epilepsia. Algunos pacientes sufren de ataques frecuentes y no responden a drogas antiépilépticas. Su única esperanza de alivio es una cirugía en que se extirpe la región dañada, donde se originan los ataques, y en la mayoría de los casos la cirugía tiene como resultado una recuperación satisfactoria libre de ataques. Sin embargo, la región a extirpar debe estar cuidadosamente identificada. El desafío es extraer por completo el tejido afectado pero conservar las áreas sanas del cerebro que pueden ser inmediatamente adyacentes, cuya remoción podría tener consecuencias desastrosas.

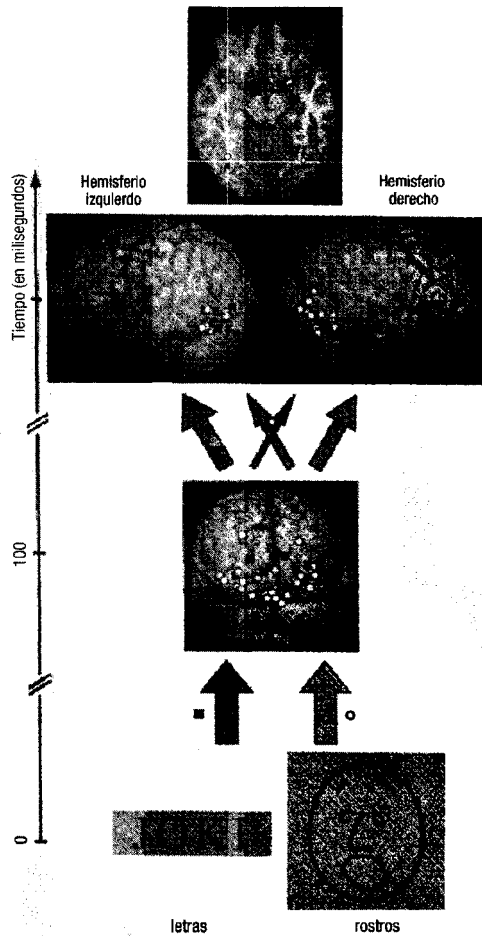


Figura 2.8. La magnetoencefalografía es una técnica que sigue el curso temporal de la actividad cerebral milisegundo a milisegundo durante el reconocimiento de rostros y cadenas de letras. Inicialmente, y hasta aproximadamente 100 milisegundos luego de que la imagen aparece, los rostros y las cadenas evocan patrones muy similares de activación occipital. A los 150 milisegundos, sin embargo, las cadenas se encauzan hacia la "caja de letras" en el hemisferio izquierdo, mientras que las caras activan una región simétrica en el hemisferio derecho (tomado de Tarkiainen, Cornelissen & Salmelin, 2002). *Adaptado con permiso de Oxford University Press.*

Una cirugía exitosa para la epilepsia depende de una identificación precisa de las áreas del cerebro donde se originan los ataques. Una o dos semanas antes de realizarla, se insertan unas pocas docenas de electrodos alrededor de la región donde se sospecha que existe el daño, para así garantizar la detección exacta. El contacto directo con la corteza permite que haya un monitoreo preciso y altamente sensible de las señales eléctricas circundantes. En las clínicas modernas para epilépticos, estas señales se digitalizan continuamente mientras se filma a los pacientes día y noche. De este modo, puede reconstruirse incluso la más pequeña señal de una tormenta cerebral inminente y rastrearse el área donde se originó. Entre dos ataques, los electrodos también registran las señales cerebrales, que, en su mayoría, surgen en regiones sanas. Con el consentimiento y la colaboración del paciente, pueden aprovecharse estas señales intracraneanas para estudiar, con una precisión sin precedentes, cómo reacciona el cerebro a estímulos externos como las palabras o los rostros.

En los años noventa, los neurólogos Truett Allison, Gregory McCarthy y sus colegas en la Universidad de Yale lanzaron un impresionante programa de investigación que los condujo, a su debido tiempo, a registrar las señales intracraneanas de más de cien pacientes (Allison y otros, 1994; Nobre, Allison y McCarthy, 1994; Allison y otros, 1999; véanse también Gaillard, Naccache y otros, 2006). Su técnica quirúrgica consistía en envolver los lóbulos temporal y occipital con tiras de electrodos situadas debajo de la membrana protectora del cerebro (la duramadre), en contacto directo con la superficie cortical (figura 2.9). Ubicados cada cinco o diez milímetros, estos sensores abrieron una ventana a las ctapas sucesivas de la lectura y confirmaron la velocidad increíble de nuestro sistema visual. Aproximadamente 180 milisegundos después de que una imagen se proyectara en la retina, aparecían ondas negativas de alta amplitud en algunos electrodos que estaban frente a la superficie ventral de los lóbulos occipital y temporal. Como se esperaba, esas señales estaban en su mayoría en el hemisferio izquierdo (en el caso de las palabras) y en el hemisferio derecho (en el de los rostros).

Lo desconcertante de este estudio fue la extrema selectividad espacial de las respuestas. No era inusual que un electrodo reaccionara masivamente a las palabras mientras que sus vecinos, sólo unos milímetros más lejos, no manifestaban respuesta alguna. Aún más sorprendente era que un electrodo pudiera responder muy vigorosamente a las palabras, pero no demostrara ninguna réplica a otras categorías como rostros, objetos o

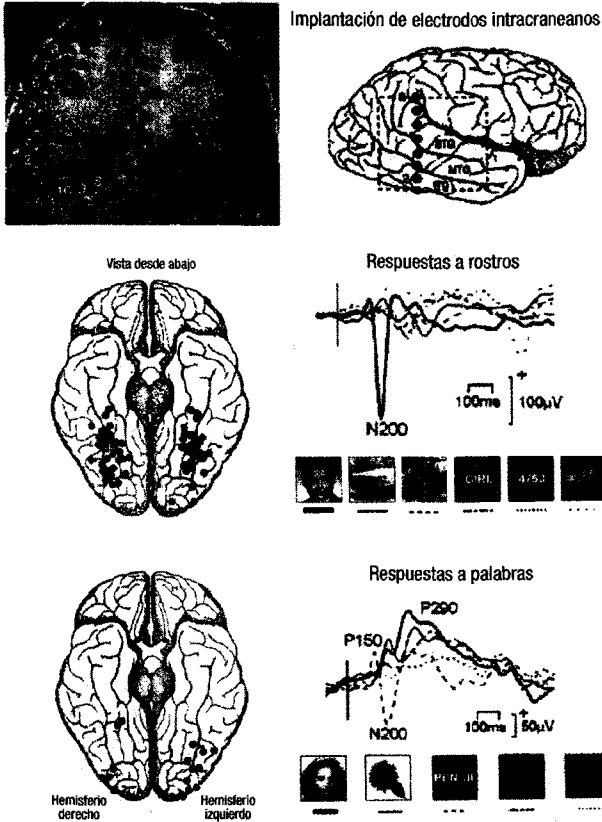


Figura 2.9. En pacientes epilépticos, los electrodos que se ubican directamente en la superficie de la corteza exponen la especialización cerebral con precisión espacial y temporal excepcional. En algunos electrodos, cuando se presenta una determinada categoría de imágenes, la señal eléctrica se desvía repentinamente entre 150 y 200 milisegundos. Algunos sitios prefieren rostros, otros las palabras escritas. Cuando la información de múltiples pacientes se ubica en un espacio anatómico estándar, las caras parecen involucrar preferentemente el hemisferio derecho, mientras que las respuestas a palabras predominan en el izquierdo (tomado de Allison y otros, 1999). *Adaptado con permiso de Oxford University Press y Cerebral Cortex.*

formas sin sentido. Esta observación implicó la existencia de microterritorios, algunos de los cuales estaban dedicados a las palabras.

En resumen, la evidencia de los registros directos dentro del cerebro converge de manera adecuada con la restante información de que disponemos, sin importar si viene de pacientes como el señor C., de estudios de PET, de fMRI o de técnicas de imágenes electromagnéticas. La superficie ventral de cada cerebro humano contiene un agrupamiento sistemático de dispositivos de reconocimiento visual, todos sincronizados con diferentes categorías de imágenes, y organizados de manera sistemática con la misma disposición general. En particular, el área de la caja de letras está sistemáticamente intercalada entre otras áreas que responden a caras y a objetos. Esta organización metódica del mosaico visual del cerebro necesita una explicación.

En el caso de las caras, Nancy Kanwisher, profesora de neurociencia cognitiva del MIT, ha defendido una hipótesis evolucionista muy sencilla. En los primates, cuya vida social tiene un notorio desarrollo, probablemente a lo largo del tiempo haya evolucionado un área cortical especializada en el reconocimiento de rostros (Kanwisher, McDermott y Chun, 1997). Sin embargo, mientras dicho enfoque darwiniano no es del todo improbable respecto de los rostros, no parece que una influencia evolucionista de ese tipo pueda explicar la existencia de zonas de la corteza reservadas de manera específica para las palabras y las letras. ¿Qué es lo que le permitió al cerebro de los primates anticipar la invención de la escritura y prever una región específica para la palabra escrita?

Antes de levantar parte del velo de esta paradoja, deberíamos enfocarnos un poco más en lo que el área de la caja de letras logra hacer realmente. ¿Su actividad refleja una genuina especialización para las palabras o tan sólo provee una respuesta generalizada a las líneas y curvas que constituyen las letras? La mera comparación de palabras y rostros no puede resolver este problema. Hace falta una observación más cuidadosa de cómo resuelve el cerebro el problema del reconocimiento invariante de palabras.

Invariabilidad de la posición

Como se mencionó antes, el potencial de invariabilidad espacial del sistema visual es impresionante. Un buen lector puede reconocer palabras sin importar cómo estén posicionadas (por supuesto, siempre que se dé

por sentado que no exceden la resolución limitada de nuestra retina). Pero ¿el área de la caja de letras es responsable de esta forma de constancia perceptual? Los experimentos que llevé a cabo junto con Laurent Cohen sugieren que esto es así (Cohen y otros, 2000). Les pedimos a voluntarios que miraran continuamente una pequeña cruz en una pantalla y que luego leyeran en silencio las palabras que aparecían a la derecha o a la izquierda de este punto. Como se sabe, la retina transmite información cruzada al cerebro: las palabras que aparecen en el lado izquierdo de una pantalla se proyectan a la mitad derecha de la retina y son luego transmitidas a los centros visuales del hemisferio derecho. Del mismo modo, las palabras que son presentadas en el lado derecho de una pantalla terminan en el hemisferio izquierdo. En efecto, las imágenes cerebrales confirmaron que nuestro experimento segregaba la información que recibía en uno u otro hemisferio. En las regiones occipitales, y específicamente en una región conocida como V4, la fMRI mostraba activaciones estrictamente confinadas al hemisferio opuesto a aquel donde las palabras eran presentadas. Este descubrimiento se confirmó con electroencefalografía: hasta aproximadamente los 160 milisegundos, los potenciales cerebrales evocados por la palabra-estímulo estaban confinados a la zona del cráneo opuesta a la localización que era estimulada (figura 2.10).

En este punto, sin embargo, la trayectoria de la actividad cerebral cambiaba abruptamente. En menos de 40 milisegundos, toda la activación cambiaba al hemisferio izquierdo. La transformación más espectacular ocurría para las palabras presentadas en el lado izquierdo de la mirada. Estas palabras, cuyo contacto inicial había sido con el hemisferio derecho, se transferían de modo repentino al izquierdo y en aproximadamente 200 milisegundos se procesaban como palabras presentadas a la derecha.

La fMRI nos ayudó a señalar el lugar donde la información visual se transfería de un hemisferio al otro. Lo que encontramos fue que las señales de las mitades derecha e izquierda de la retina convergían en el área ténporo-occipital izquierda, exactamente en el área de la caja de letras, que estaba dañada en los pacientes con alteraciones de la lectura. La activación de esta región en el hemisferio izquierdo tenía los mismos contornos espaciales y la misma intensidad, sin importar si las palabras se presentaban en el lado izquierdo o derecho de la fovea. En otras palabras, la invariabilidad espacial comienza en el área de la caja de letras. Otros experimentos confirmaron que esta misma región también es el primer punto en el cual se reconoce la repetición de la palabra escrita,

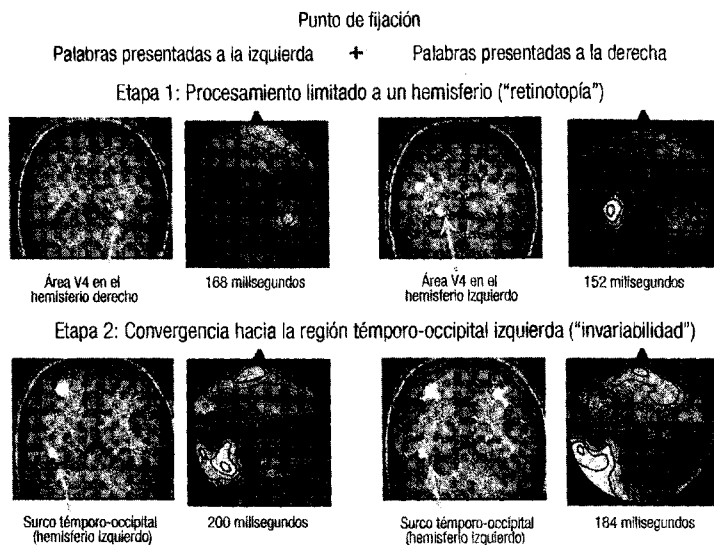


Figura 2.10. Sin importar en qué parte de la retina aparezcan, las palabras son dirigidas hacia la "caja de letras del cerebro", en la corteza t mporo-occipital izquierda. En este experimento, los pacientes miraban una cruz en el centro mientras las palabras se presentaban a la izquierda o a la derecha. Milisegundos después de la aparición de la palabra, de unos 150 a 170, aparecía una primera onda negativa en el lado de la cabeza opuesto al estímulo. Esto se asociaba con la activación de un área visual llamada V4, situada en la parte posterior del cerebro. En dicha etapa, la información visual permanecía confinada a un hemisferio. A los 180 o 200 milisegundos, sin embargo, aparecía una segunda negatividad en el lado izquierdo de la cabeza, sin importar dónde había aparecido la palabra-estímulo. La resonancia magnética confirmó que la activación convergía en el sistema visual izquierdo (tomado de Cohen y otros, 2000). *Adaptado con permiso de Oxford University Press.*

primero en un lado de la pantalla y luego en el otro; claro indicio de invariabilidad espacial (McCandliss, Curran y Posner, 1993).

Para alcanzar la invariabilidad, la información que viene de dos mitades de la retina debe, a su debido tiempo, encauzarse al hemisferio izquierdo. Esto se alcanza a través de conexiones nerviosas enviadas des-

de las áreas visuales del hemisferio derecho a la caja de letras en el hemisferio izquierdo. La vasta mayoría de estas conexiones viaja a través del cuerpo caloso, un gran haz de fibras nerviosas que conecta los dos hemisferios. Esta arquitectura lleva a una predicción bastante extraña: si una lesión o un ataque cerebral daña la transmisión a través del cuerpo caloso, debería haber un déficit en la lectura, pero estaría restringido a la mitad izquierda del campo visual. Las palabras presentadas a la izquierda no dejarán de activar las áreas visuales del hemisferio derecho, pero la información no podrá abrirse camino hacia las áreas del lenguaje del hemisferio izquierdo y continuará bloqueada en el lado derecho. De este modo, un paciente que ve las palabras de los dos lados de la pantalla no podrá leer las que aparecen a la izquierda.

Este curioso síndrome de "hemialexia" no es solamente algo que Laurent Cohen y yo sacamos de la galera. Los dos observamos este peculiar fenómeno en dos pacientes en quienes estaba dañada la parte posterior del cuerpo caloso (Cohen y otros, 2000; Molko y otros, 2002). La figura 2.11 muestra la actividad cerebral de uno de ellos (el paciente A. C.), medida usando fMRI. Cuando las palabras aparecían en el lado derecho de la pantalla, este hombre joven podía leerlas fácilmente. Sin embargo, cuando aparecían en el lado izquierdo, solamente podía leerlas con mucho esfuerzo. Decía que no podía ver la palabra en sí misma, sino una forma indistinta que le insumía más de dos segundos identificar. De hecho, la resonancia magnética demostraba que las palabras sobre el lado izquierdo no activaban su área de la caja de letras. Sí, sin embargo, inducían un aumento de la actividad en otras áreas como la corteza prefrontal, lo que presumiblemente reflejaba la ardua búsqueda de la palabra correcta del paciente A. C.

En resumen, A. C. había perdido una vía anatómica esencial para la lectura. Esta ruta, que viaja a través del cuerpo caloso, ayuda a las palabras que ingresan en el hemisferio derecho a llegar al área de la caja de letras, en el hemisferio izquierdo. La ruta es tortuosa, sin embargo, y tiene su precio. Las letras que aparecen en el lado derecho de nuestra mirada tienen una clara ventaja: llegan directamente al hemisferio izquierdo y no tienen que recorrer distancia alguna para llegar a la región de la caja de letras. Las letras que aparecen en el lado izquierdo, en cambio, primero llegan al hemisferio derecho y luego deben moverse a través de los dos hemisferios gracias a muchos centímetros de cable caloso. Como resultado, incluso en los lectores normales, la lectura siempre es un poco más lenta y más propensa al error cuando las palabras aparecen en el lado izquierdo de un punto de fijación que cuando

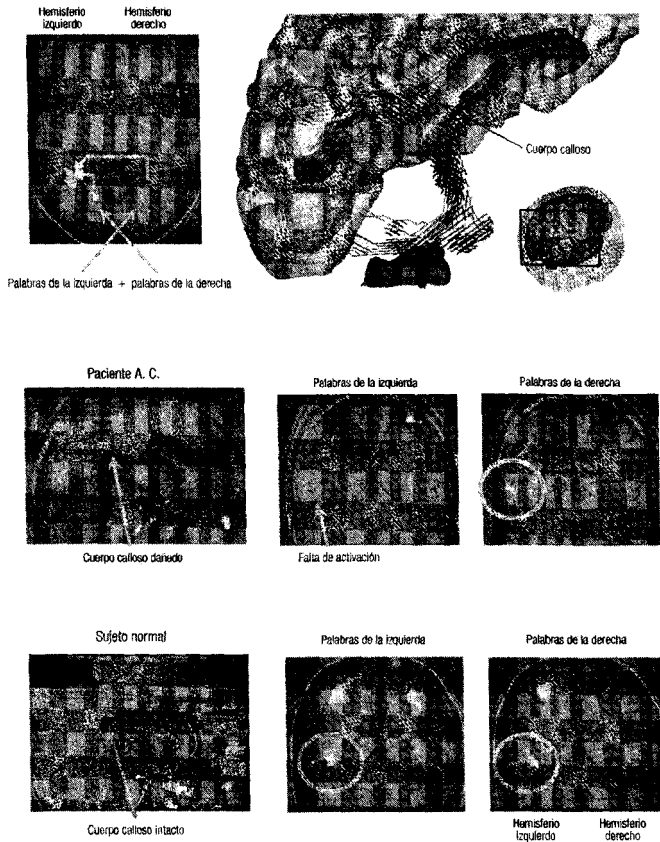


Figura 2.11. La invariabilidad visual se apoya, en parte, en el cuerpo calloso, un vasto haz de fibras que interconecta los dos hemisferios cerebrales. Cuando se presenta una palabra a la izquierda de la cruz de fijación, es procesada inicialmente por las áreas visuales que se encuentran en el hemisferio derecho, y luego deben ser transmitidas a la izquierda. Un grupo de fibras, que puede visualizarse con resonancia magnética de difusión, conecta aquellas regiones a través del cuerpo calloso (arriba a la derecha). En uno de nuestros pacientes (A. C.), este tracto de fibras estaba lesionado. Como resultado, la transmisión interhemisférica se había interrumpido, lo que hacía a esta persona incapaz de leer palabras que se le presentaban a la izquierda (tomado de Molko y otros, 2002). *Adaptado con permiso de Oxford University Press y The Journal of Cognitive Neuroscience.*

aparecen a la derecha. La mayor distancia en la transferencia y, tal vez más crucialmente, el flujo reducido de información transmisible a través del cuerpo calloso tienen un gran costo para el reconocimiento de palabras. Así, en el cerebro humano, la invariabilidad posicional es incompleta: no todas las zonas de la retina son igual de eficientes para la lectura y en cierto modo, como A. C., todos vemos mejor las palabras cuando están a nuestra derecha.²³

Otra técnica de imagen, llamada resonancia magnética por difusión, nos permitió visualizar el haz de fibra dañado que dificultaba la capacidad de A. C. para leer. Utilizamos una forma modificada de resonancia magnética. Puede medir la dirección de las fibras nerviosas en el cerebro humano vivo y funciona de la siguiente manera. Como todos saben, las moléculas de agua están en un movimiento aleatorio "browniano" constante. En una taza caliente de café, el movimiento browniano es el causante de que una gota de leche se disuelva en toda la bebida. En nuestros cuerpos, las moléculas de agua también se desplazan lentamente. Un truco inteligente de la resonancia magnética nos permite medir esa difusión. En líneas generales, consiste en magnetizar el cerebro dos veces en direcciones opuestas. Para las moléculas que no están en movimiento, la magnetización se cancela y el efecto neto es cero. Las moléculas en movimiento, sin embargo, crean una señal mensurable, proporcional a la cantidad de movimiento en la dirección medida.

¿Qué ocurre cuando la difusión se mide en muchas direcciones diferentes? En los líquidos, esto es irrelevante; una gota de leche en el café se dispersa igualmente rápido en todas las direcciones. En los tejidos biológicos, sin embargo, las membranas celulares restringen el movimiento. La sustancia blanca del cerebro, en particular, consiste en su mayoría de grandes haces de fibras nerviosas que actúan como tubos: las moléculas de agua pueden moverse libremente a lo largo de los ejes principales de los tractos de fibra, pero no pueden cruzarlos con facilidad. En cada punto del cerebro, la dirección de la difusión cerebral máxima es como una flecha que indica el eje de los tractos de fibra más

23 Ellis, Young y Anderson (1988), Cohen y otros (2000), Ellis (2004). La transferencia de información entre hemisferios es sólo uno de los factores que contribuyen a la ventaja del campo visual derecho para la lectura (véase Brysbaert, 1994). La dirección de la lectura, de izquierda a derecha en inglés [y en castellano], también tiene un rol importante porque lleva a un entrenamiento acentuado del campo visual derecho para el reconocimiento de letras (Nazir y otros, 2004).

importantes. Si con ayuda de un programa poderoso de seguimiento por computadora se conectan todas las pequeñas flechas locales, puede obtenerse una imagen 3D de los tractos de fibra nerviosa. Esta técnica es comparable a determinar la dirección de una autopista sacando fotos de las luces traseras de un auto con una velocidad de obturación muy lenta. Esas luces siempre apuntan en la dirección de circulación de la calle.

La resonancia magnética de difusión provee información excelente sobre la conectividad del cerebro humano: la evidencia que se obtuvo es muy innovadora. Antes de la invención de la resonancia magnética por difusión, incluso con la disección, era en extremo difícil seguir las conexiones en el cerebro humano. De hecho, el único gráfico con que contábamos databa de hace cien años, y también era obra de Joseph-Jules Déjerine. Sólo él fue lo suficientemente capaz en la disección, y por demás perseverante, como para reunir información al realizar autopsias.

La imagen por difusión obtenida del cerebro de A. C. reveló de inmediato una anomalía obvia (Molko y otros, 2002). La parte posterior del cuerpo calloso y una gran porción de la sustancia blanca vecina no mostraban la dirección normal de la difusión de agua. La señal había perdido la selección direccional usualmente hallable en esta localización particular del cerebro, e indicadora de la presencia de un tracto de fibra principal. Las fibras que conectaban los dos hemisferios estaban obviamente dañadas, y las moléculas de agua se difundían con mayor libertad. Esta difusión anormal nos permitió seguir el rumbo de los tractos de fibra dañados incluso en regiones en que una resonancia magnética anatómica estándar parecía normal. Luego proyectamos su camino en un cerebro normal y como resultado obtuvimos una imagen del haz de fibras dañado de A. C. (figura 2.11). Como esperábamos, el daño iba desde las regiones visuales de la corteza occipital derecha hasta las vecindades de la región de la caja de letras izquierda, lo que explicaba claramente que A. C. leyera de forma dubitativa las palabras que se encontraban a la izquierda.²⁴

²⁴ Es poco probable que un tracto de fibras tan grande sólo transmita información sobre las identidades de las letras y las palabras. Es probable que también transporte mucha información adicional, por ejemplo acerca del color, la forma y la identidad de los objetos. De hecho, cuando se investigó más, se descubrió que A. C. tampoco podía transmitir esa información de un hemisferio a otro (Intriligator, Hénaff y Michel, 2000).

Todos estos ejemplos sirven para demostrar el poder de las imágenes cerebrales modernas. En el laboratorio, visualizamos de manera rutinaria no sólo la anatomía del cerebro, sino también la actividad en regiones determinadas, su curso temporal, e incluso la dirección de las fibras nerviosas que las conectan. La resonancia magnética por difusión se ha convertido en una herramienta indispensable en la neurología clínica. Se usa habitualmente para diagnosticar ataques cerebrales y muchas otras patologías de la sustancia blanca, como la esclerosis múltiple. La información que provee, sin embargo, es estrictamente anatómica. Si bien podemos ver una conexión, las imágenes cerebrales no nos dan una idea de cuándo o cómo se la utiliza. Pero esta situación no debería prolongarse. Nuevas y promisorias investigaciones indican que la información acerca de la actividad cerebral también está presente en la señal de difusión (Le Bihan y otros, 2006). La investigación en esta área hace tan importantes y regulares progresos que podemos confiar en que habrá nuevos descubrimientos cada año. Podemos ser optimistas y pensar que, en el futuro cercano, los avances en las imágenes cerebrales harán posible trazar los circuitos cerebrales de cualquier persona en cuestión de minutos.

La lectura subliminal

Como acabamos de ver, el área de la caja de letras reconoce las palabras sin importar dónde aparecen. Cuando leemos, esta es la primera región del cerebro para la cual es irrelevante la localización de las palabras. Sin embargo, esta invariabilidad de la localización espacial es sólo una de las propiedades fundamentales del reconocimiento eficiente de palabras. La forma de los caracteres también cambia ampliamente. Un lector hábil puede reconocer que una "A" y una "a" son la misma letra en diferente forma o entender que una MeZcLa De LeTrAs MaYúScUIAs Y mInÚsCuLaS no altera el significado de las palabras. Lo que debemos preguntarnos es cómo la invariabilidad de las formas de las letras se implementa en el cerebro. ¿Depende de las mismas regiones que aquellas que implementan la invariabilidad espacial? ¿Las dos ocurren al mismo tiempo, o requieren una serie de operaciones sucesivas que dependen de mecanismos corticales distintos?

Para abordar estos temas, Thad Polk y Martha Farah llevaron a cabo un experimento simple (Polk y Farah, 2002). Usaron fMRI para medir la actividad cerebral mientras los voluntarios leían palabras en que las ma-

yúsculas y las minúsculas estaban mezcladas, como en “HoTeL”. Aunque no eran familiares, estos estímulos desencadenaban casi la misma cantidad de actividad cerebral que las palabras escritas en el mismo tipo de letra. Particularmente, el registro de actividad cerebral en el área de la caja de letras, incluso cuando se la estimulaba con una forma tan extravagante como “ElEfAnTe”, era completamente normal. Así, Polk y Farah sugirieron que esta región alberga una representación abstracta de letras y palabras, en que las neuronas ya no se ven afectadas por el tipo de letra.

No es obvio, sin embargo, que estos resultados sean del todo concluyentes. La relativa pobreza de la resolución espacial de las imágenes cerebrales no nos permite ver si las mismas neuronas responden a “HoTeL”, “HOTEL” y “hotel”. El total de la actividad evocada por estas secuencias puede ser idéntico incluso si diferentes neuronas están involucradas. Por eso, una mera superposición de activaciones no confirma que la invariabilidad de formas de las letras sea manipulada en este lugar del cerebro.

Este problema podría parecer insoluble, si no fuera por una elegante técnica que mide las respuestas del cerebro ante pares de palabras consecutivas (Grill-Spector y Malach, 2001; Naccache y Dehaene, 2001). En cada ensayo, a los voluntarios se les presentan dos estímulos a intervalos muy cortos. La idea es comparar el total de actividad evocada cuando ambos estímulos representan la misma palabra, posiblemente en mayúsculas y en minúsculas (“hotel” seguida por “HOTEL”), y cuando representan diferentes palabras (“radio” seguida por “HOTEL”). Sabemos, a partir de experimentos con animales, que las neuronas son muy sensibles a la repetición. Se adaptan con rapidez a la estimulación repetida y descargan menos la segunda vez que se presenta una imagen. Sin embargo, cuando se presenta una nueva imagen, reaparece un alto nivel de respuesta. Cuando la señal de MRI se adapta y luego se restablece de este modo, nos dice, indirectamente, que las neuronas de determinada área han detectado la repetición de un estímulo y su cambio subsiguiente. Cuando cambiamos la forma del estímulo, podemos preguntarnos qué cuenta como repetición para esa área del cerebro: por ejemplo, ¿trata “hotel” y “HOTEL” como dos formas diferentes o como si fuese una misma palabra?

Hay un último refinamiento para este procedimiento. Idealmente, los voluntarios no deberían saber que las palabras reaparecerán. Si pueden ver que las palabras se repiten, su nivel de atención cae. Esto provoca una caída en la señal de MRI que se propaga hacia las áreas del cerebro relacionadas con la atención, y ya no es posible decir si la señal refleja

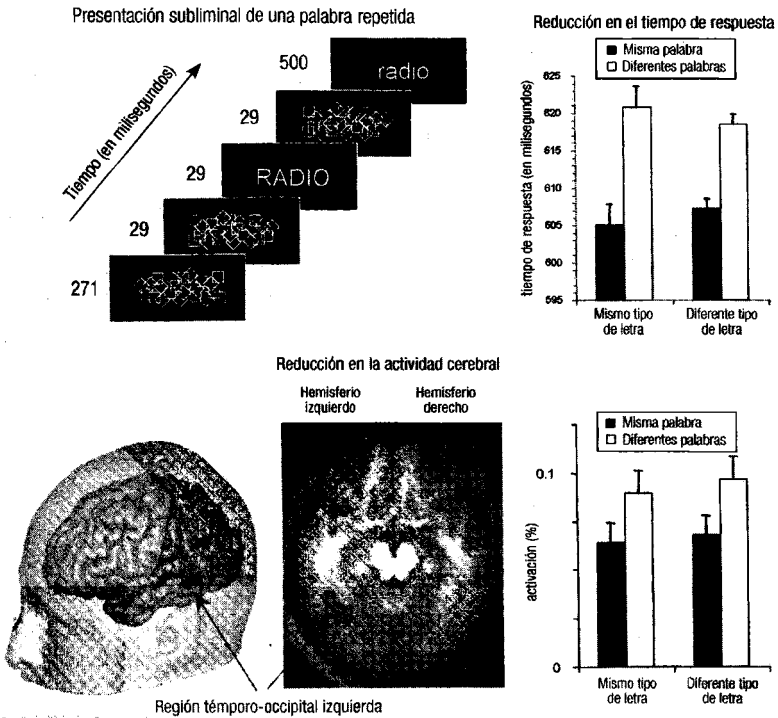


Figura 2.12. Las palabras escritas pueden reconocerse subliminalmente, en ausencia de conciencia. En este experimento, se presentó una palabra por una duración muy corta (29 milisegundos). Había formas que enmascaraban el estímulo, aparecían antes y después y lo volvían invisible. Con todo, esta presentación no consciente aceleraba las respuestas de los participantes cuando la misma palabra reaparecía luego como un blanco visible conscientemente (arriba a la derecha). Las imágenes cerebrales mostraron que el área tèmpero-occipital izquierda era responsable de este efecto de *priming* subliminal: su actividad disminuía cuando la palabra estaba repetida, incluso cuando su forma gráfica cambiaba radicalmente de mayúscula a minúscula (tomado de Dehaene y otros, 2001). *Adaptado con permiso de Nature Neuroscience.*

invariabilidad específica, local, perceptual, o un simple cambio global en el estado general de la atención.

Cuando utilicé este método en mi trabajo experimental, procuré impedir la percepción consciente de las palabras repetidas. La primera palabra de cada par experimental siempre se presenta muy brevemente, durante sólo veintinueve milisegundos, o una duración equivalente a un lapso menor que un fotograma de película. Estas son las condiciones estándar para la percepción subliminal. La primera palabra que se presenta es invisible porque está intercalada entre dos secuencias de formas geométricas sin significado. En lugar de la palabra, los participantes de este experimento perciben solamente un breve destello seguido por una palabra que, según creen, es la única que deben ver. Los experimentos de control confirman que no tienen información sobre la palabra oculta.

Lo que es sorprendente bajo estas condiciones de presentación subliminal es que la palabra enmascarada, aunque invisible, no deja de activar parte del circuito de la lectura del cerebro. En especial, el área de la caja de letras reacciona a las repeticiones de palabras; su activación se reduce cuando la misma palabra se presenta dos veces seguidas (figura 2.12). Crucialmente, reacciona de la misma manera sin importar si la palabra aparece en la misma forma de letra (“HOTEL”-“HOTEL”) o en una diferente (“hotel”-“HOTEL”). Este es un efecto específico que no se ve en otras regiones del cerebro. Por ejemplo, las regiones del lóbulo occipital que están involucradas en el procesamiento visual de nivel más bajo reducen su actividad únicamente cuando el objeto visual que se presenta dos veces es exactamente el mismo (“HOTEL”-“HOTEL”), pero dejan de hacerlo tan pronto como la forma de la letra cambia (“hotel”-“HOTEL”). Probablemente sólo codifican rasgos elementales que aparecen en la retina, y, por lo tanto, interpretan cualquier cambio visual como un nuevo estímulo, incluso cuando una palabra es la misma con diferente apariencia, como en “hotel” y “HOTEL”. En cambio, el área de la caja de letras lleva a cabo una operación más abstracta: reconoce que “a” y “A” representan el mismo estímulo. Las imágenes cerebrales, entonces, demuestran que esta región del cerebro computa simultáneamente las invariabilidades tanto espaciales como de forma (Dehaene y otros, 2001).

En experimentos más recientes, los científicos han comenzado a encontrar cuáles son los pasos involucrados en el reconocimiento de letras y palabras. Consideremos las palabras “amor” y “ramo”.²⁵ Estos son ana-

25 “Anger” y “range” en el original. [N. de la T.]

gramas de un tipo muy particular. No solamente están formados por las mismas letras, sino que también una palabra puede ser convertida en la otra moviendo solamente una letra de la primera posición a la última. Ahora, supongamos que estas dos palabras le son presentadas a usted consecutivamente, con un cambio de forma de letra para evitar cualquier similitud visual de nivel bajo ("AMOR" - "ramo"), pero también con un pequeño movimiento horizontal para que todas las letras centrales compartidas, "a", "m", "o" aparezcan en el mismo punto de la pantalla. Con este simple truco, casi todas las letras de las palabras pueden repetirse sin que la palabra completa reaparezca nunca. Este método nos lleva a preguntarnos, una vez más, qué cuenta como repetición para el área de la caja de letras. ¿La repetición de letras provoca un efecto de adaptación, o debe repetirse la palabra completa? En otras palabras, ¿esta región del cerebro está sólo interesada en las letras individuales o codifica unidades de mayor tamaño, tal vez pares de letras o incluso la palabra completa?

La respuesta es: ¡todo lo anterior! En efecto, el proceso de adaptación en la región de la caja de letras revela muchos niveles sucesivos de codificación de las letras, organizados jerárquicamente desde atrás hacia delante de la corteza t́mporo-occipital, con un grado de abstracción creciente (Dehaene y otros, 2004). El nivel más bajo de codificación se ocupa de las letras individuales. Se encuentra en el sector más posterior de la corteza t́mporo-occipital, en ambos hemisferios. Sólo se ocupa de la repetición de letras individuales. Siempre que las letras reaparecen, hay una caída en la señal de fMRI sin importar si pertenecen a una palabra diferente o no. Más aún, lo que es esencial es que las letras se repitan en el mismo lugar en la pantalla. Cuando una palabra se desplaza hacia la izquierda o hacia la derecha sólo por una letra, el efecto de adaptación desaparece del área de la caja de letras. Esto sugiere que sus neuronas ya no reconocen que las mismas letras se encuentran todavía presentes. En otras palabras, la invariabilidad de la posición no existe en este nivel, incluso si esta región resiste un cambio de minúsculas a mayúsculas. Por lo tanto, pensamos que el área de la caja de letras contiene un banco de detectores de letras abstractas que pueden notar la presencia de una letra dada en una determinada ubicación, independientemente de su forma.

Si ahora avanzamos un centímetro por la corteza t́mporo-occipital izquierda, la codificación de las palabras se hace repentinamente más invariante. Aquí la corteza es sensible a la similitud de palabras como "AMOR" y "ramo", incluso cuando sus letras no están alineadas exacta-

mente. Entonces, esta región aún codifica unidades por debajo del nivel de palabra completa (tal vez letras individuales o pequeños grupos de letras), pero lo hace con alguna tolerancia a los cambios en la localización espacial. Reconoce que la forma de escritura de las dos palabras es similar, incluso si la posición de las letras es diferente. Entonces, probablemente sea en este nivel donde nuestro cerebro empieza a codificar las relaciones morfológicas entre palabras como, por ejemplo, “partir” y “partida” (Devlin y otros, 2004). Las raíces de las palabras, sin embargo, todavía no han sido codificadas para acceder a su significado. Esta región específica del cerebro podría entonces atribuir erróneamente una raíz compartida a las palabras “departamento” y “departir”. En efecto, todo lo que hace nuestro sistema visual en este nivel es analizar rápidamente el estímulo y convertirlo en un árbol jerárquico que identifica las letras, grafemas, sílabas y morfemas que es más probable que estén presentes en la cadena.

Si avanzamos nuevamente otro centímetro, llegamos a un código neural todavía más selectivo. Aquí, en la parte anterior de la región de la caja de letras, la corteza empieza a responder a la palabra completa. En este punto, la activación tiende a reducirse cuando se repite la misma palabra (“AMOR” seguida de “amor”), pero no cuando las mismas letras forman una palabra diferente (“AMOR” seguida de “ramo”). Una secuencia de letras se codifica como un todo integral, o, por lo menos, el cerebro indudablemente reconoce grandes grupos de letras como “ram”, que permiten distinguir entre sí las dos palabras de mi ejemplo.

Lo que aprendemos de estos estudios está claro. Primero, la lectura es un juego de construcción muy sofisticado: para armar paulatinamente un código neural exclusivo para cada palabra escrita se necesita una línea compleja de ensamblaje cortical. En segundo lugar, la reflexión consciente es ciega a la verdadera complejidad del reconocimiento de las palabras. La lectura no es un proceso directo que no requiere esfuerzo. Por el contrario, depende de una serie completa de operaciones inconscientes. En los casos que acabo de describir, todas las etapas sucesivas de la actividad cerebral ocurrieron mientras los participantes ni siquiera sospechaban que se les estaba presentando una palabra escondida. Claramente, las secuencias subliminales de letras pueden ser inconscientemente “atadas”; las letras no flotan independientemente, sino que pueden formar combinaciones estables que inconscientemente codifican la diferencia entre anagramas como “amor” y “ramo”. Todo el proceso de reconocimiento visual de palabras, desde el procesamiento en la retina hasta el nivel más alto de abstracción e invariabilidad,

entonces, se despliega automáticamente en menos de un quinto de segundo, sin ningún examen consciente (más evidencia del proceso subliminal de las palabras consta, por ejemplo, en Naccache y otros, 2005; Gaillard, Del Cul y otros, 2006; Del Cul, Baillet y Dehaene, 2007).

Cómo la cultura modela el cerebro

Podría argumentarse que las operaciones visuales que acabo de describir no son específicas de la lectura. Cuando nuestro cerebro reconoce la similitud entre las palabras "RADIO" y "radio", tal vez simplemente se ajusta al tamaño de la letra. Un proceso visual genérico de invariabilidad de tamaño puede identificar las letras "O" y "o" de la misma forma en que nosotros reconocemos, por ejemplo, un tenedor más allá de su tamaño, su posición o el ángulo desde el cual se lo mira. ¿Qué prueba tenemos de que el área de la caja de letras realmente implementa operaciones que son únicas para la lectura?

De hecho, la invariabilidad de tipo de letra en sí misma provee evidencia robusta de que nuestro sistema visual está adaptado para la lectura. Estamos tan acostumbrados a las asociaciones entre letras en mayúscula y minúscula que ya no vemos cuán arbitrarias son. Solamente unas pocas letras se parecen en mayúscula y minúscula ("o" y "O", "u" y "U"). Sin embargo, muchas otras parecen estar emparejadas aleatoriamente. Nada predispone a la forma "a" para servir como la versión en minúscula de la letra "A"; podríamos imaginarnos con facilidad un alfabeto en que "e" fuese la forma en minúscula de "A" y "g" la minúscula de "R". La asociación entre mayúsculas y minúsculas es una convención que adoptamos cuando aprendemos a leer. Curiosamente, las imágenes cerebrales pueden utilizarse para demostrar que el área de la caja de letras se ha adaptado a esta convención (Dehaene y otros, 2004). En uno de mis experimentos, les mostré a los voluntarios una lista de palabras cuyas formas de letras, a excepción del tamaño, eran muy similares en mayúscula y minúscula: "COUP" - "coup" [golpe], "PUCK" - "puck" [disco de *hockey*], "ZOO" - "zoo" [zoológico], etc. Luego agregué otra lista de palabras construidas por letras cuyas formas en minúscula y en mayúscula no se parecían en nada y eran resultado de una convención: "GET" - "get" [obtener], "EAGER" - "eager" [ansioso], "READ" - "read" [leer], etc. No hace falta decir que los participantes reconocieron fácilmente estas palabras a pesar de las formas diferentes. Las imágenes cerebrales revelaron qué área del cerebro codifica este tipo de invariabi-

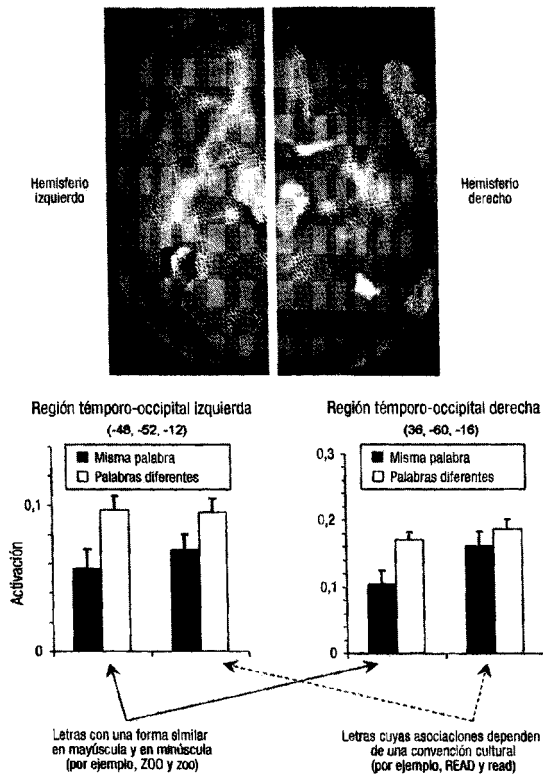


Figura 2.13. El área de la caja de letras de la zona tèmpero-occipital izquierda contiene las convenciones culturales del alfabeto. Su actividad disminuye siempre que la misma palabra se presenta dos veces, lo que indica, entonces, que reconoce esta palabra sin importar si el tipo de letra cambia. Significativamente, reconoce palabras incluso cuando sus letras en mayúscula y en minúscula son radicalmente diferentes (por ejemplo, "E" y "e") y solamente están relacionadas debido a convenciones culturales. El área simétrica del hemisferio derecho, en contraste, parece responder únicamente a la similitud visual, no a las convenciones culturales (tomado de Dehaene y otros, 2004). *Adaptado con permiso de Psychological Science.*

lidad cultural. Los resultados, otra vez, respaldaron el papel central que tiene la región t mporo-occipital izquierda de la caja de letras. Esta  rea del cerebro era la única en la cual la activación disminuía siempre que las palabras se repetian, sin importar si la relación entre las dos palabras dependía de la práctica cultural o del parecido visual (figura 2.13). Para la zona de la caja de letras, entonces, las letras "G" y "g" son tan similares como "O" y "o"; una clara prueba de que esta región se ha adaptado a las convenciones de nuestro alfabeto. El hecho de que las neuronas respondan de la misma manera a las formas "g" y "G" no puede atribuirse a una organización innata de la visión. Necesariamente resulta de un proceso de aprendizaje que ha incorporado prácticas culturales en las redes cerebrales apropiadas. En este mismo sentido, es interesante contrastar el área de la caja de letras que se encuentra en el hemisferio izquierdo con el área visual simétrica del hemisferio derecho. Esta segunda región reconoce palabras que se parecen, como "ZOO" y "zoo", pero falla completamente en asociaciones convencionales como "GET" y "get". Parecería que el hemisferio derecho, en la mayoría de los diestros, sólo aplica mecanismos visuales genéricos de invariabilidad de tamaño y posición a la palabra escrita. Sólo el área de la caja de letras del hemisferio izquierdo ha internalizado las prácticas culturales que son exclusivas de la lectura.

Existe mucha evidencia adicional en lo que respecta a la especialización cultural de la región de la caja de letras. Mediante la utilización de imágenes cerebrales, mis colegas y yo hemos demostrado que no responde pasivamente y de forma innata a cualquier cosa que se parezca meramente a una letra o una palabra. En lugar de eso, se adapta activamente a la tarea de la lectura compilando estadísticas sobre las letras que suelen ir juntas. Como resultado, las cadenas de letras no siempre la estimulan igualmente bien; la ortografía en la lengua familiar para el lector debe ser respetada. Por ejemplo, esta región responde mucho mejor a cadenas que forman una palabra existente, como "GABINETE", o posible, como "PILAVER", que a cadenas que violan las reglas de plausibilidad ortográfica, como la cadena de consonantes "CQBPRGT" (figura 2.14).²⁶ También prefiere combinaciones de letras más frecuentes,

26 Véanse, por ejemplo, Price, Wise y Frackowiak (1996), Büchel, Price y Friston (1998), Cohen y otros (2002), Dehaene y otros (2002), Polk y Farah (2002). Todos estos estudios han encontrado menos activación de la región visual ventral por cadenas de consonantes que por palabras o seudopalabras. Este

como “RE” o “ADO” a combinaciones raras o imposibles como “HW” o “QNF” (Binder y otros, 2006; Vinckier y otros, 2007). Incluso algunas cadenas de letras válidas pueden no activar la caja de letras del cerebro si la persona objeto de análisis no ha aprendido a leerlas; así, los caracteres del hebreo provocan fuerte activación t mporo-occipital en lectores hablantes de hebreo, pero no en lectores hablantes de inglés (Baker y otros, 2007).

El señor C., el primer paciente de Déjerine, puede considerarse un buen ejemplo de los resultados de un entrenamiento cultural. A pesar de su serio problema con las secuencias de letras, todavía podía leer números arábigos. Desde el punto de vista visual, por supuesto, estos estímulos eran muy similares. Las formas de las letras son arbitrarias, y uno podría imaginarse fácilmente un alfabeto alternativo en el que “52 314” o “CQBPRGT” fueran palabras, mientras que la cadena “GABINETE” no tuviera sentido. Sin embargo, como sea, el área de la caja de letras prefiere cadenas de letras a secuencias de dígitos como “52 314” (Polk y otros, 2002). Así, la región de la caja de letras no est  definida meramente por los estímulos visuales, sino también por la historia cultural del cerebro del lector. Cuando aprendemos a leer, un subconjunto de nuestras neuronas visuales se adapta a las letras y a las lenguas que se nos enseñan. Los dígitos se procesan, sin duda, en otro lugar, probablemente en un área posterior de los hemisferios derecho e izquierdo. Los registros eléctricos de los potenciales cerebrales muestran que este proceso de selección cultural ocurre sorprendentemente rápido. A la región t mporo-occipital izquierda sólo le toma entre 150 y 190 milisegundos mostrar una preferencia por las secuencias bien formadas de letras frente a las secuencias de consonantes aleatorias o de dígitos (Dehaene, 1995; Bentin y otros, 1999; Tarkiainen y otros, 1999; Pineda y otros, 2001).

resultado se obtiene fácilmente en tanto los participantes realicen una tarea simple y neutral como detectar si las cadenas contienen una letra descendente como “g” o “p”. Es crucial, sin embargo, evitar tareas difíciles como la memorización de los estímulos o detectar repeticiones. En los últimos casos mencionados, la realización de la tarea es más lenta y más difícil para las cadenas de consonantes que para las palabras, y los resultados pueden revertirse (véase, por ejemplo, Tagamets y otros, 2000).

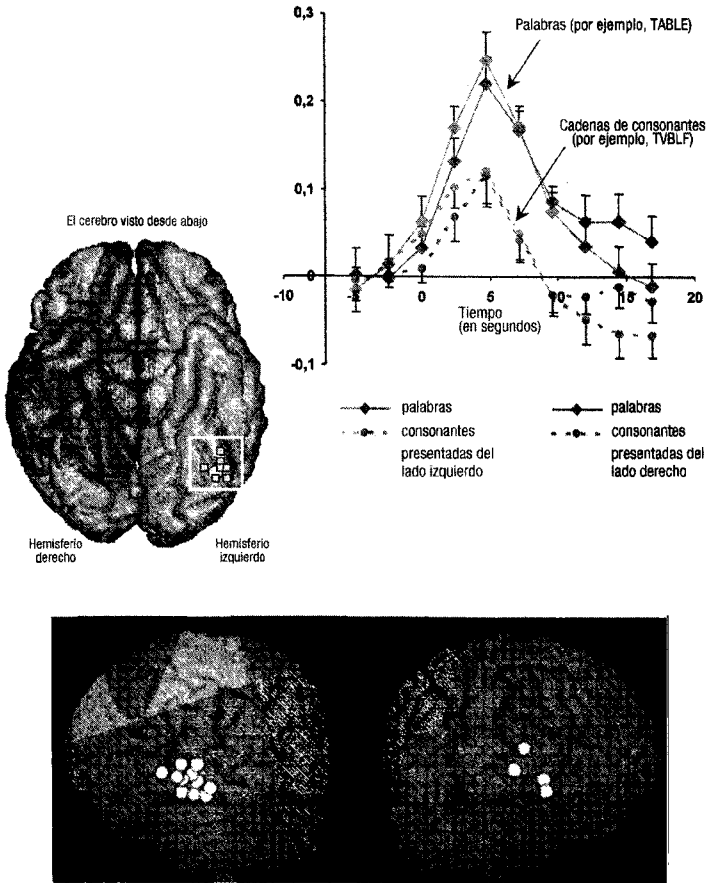


Figura 2.14. El área de la caja de letras de la zona ténporo-occipital izquierda incorpora las regularidades del sistema de escritura de la lengua del lector. La resonancia magnética funcional (fila de arriba) muestra que responde mejor a palabras reales que a cadenas de consonantes que violan las reglas de escritura de la lengua del participante; una preferencia por estímulos regulares que es independiente de la localización en la retina donde aparecen los estímulos (tomado de Cohen y otros, 2002). Otra técnica con resolución temporal más alta, la magnetoencefalografía (imagen de abajo), muestra que esta respuesta preferencial a las palabras ocurre alrededor de 150 milisegundos luego de la aparición de la palabra en la retina (tomado de Tarkiainen y otros, 1999). *Adaptado con el permiso de Oxford University Press.*

Los cerebros de los lectores chinos

Hay tantos sistemas de escritura distintos que uno podría esperar que existieran enormes discrepancias en la organización cerebral y los patrones de activación de los lectores de diferentes países, sobre todo aquellos que usan sistemas de escritura alfabéticos más que no alfabéticos. Llamativamente, sin embargo, esto no es lo que ocurre. En todas las culturas, a pesar de las grandes diferencias entre la forma de superficie, las palabras escritas son procesadas por circuitos cerebrales muy similares. Específicamente, el área t mporo-occipital izquierda de la caja de letras tiene un papel prominente en todos los lectores, con solamente mínimas diferencias vinculadas con la forma y la estructura interna de los caracteres.

Indaguemos el caso del chino y el japonés. Se especul  durante mucho tiempo que el reconocimiento de caracteres chinos era un proceso más global que nuestra decodificación del alfabeto. Se pensaba que los lectores chinos dependían principalmente del sistema visual de su hemisferio derecho, que se consideraba más "holístico". Sin embargo, las imágenes cerebrales modernas han refutado claramente esta hipótesis. Cuando se escanea a los lectores chinos, la región t mporo-occipital izquierda se activa, con una significativa lateralización hacia el hemisferio izquierdo, en un punto esencialmente idéntico al área de la caja de letras.²⁷ Es sorprendente pensar que, a pesar de la distancia geográfica, de las diferencias en los métodos de imágenes cerebrales, de las morfologías cerebrales, de las estrategias educativas y de los sistemas de escritura, las activaciones cerebrales relacionadas con el reconocimiento de las palabras en lectores de chino se encuentran solamente a unos pocos milímetros de las de los lectores de inglés.

Quienes leen fluidamente tanto el alfabeto latino como los caracteres chinos nos dan una oportunidad única de estudiar la universalidad del reconocimiento visual de las palabras en el mismo cerebro. Desde los

27 Véanse Tan y otros (2000), Kuo y otros (2001), Kuo y otros (2003), Lee y otros (2004). Sin embargo, algunas áreas est n más activas cuando se leen caracteres chinos que cuando se leen palabras inglesas, incluidas las regiones parietal derecha y frontal media (Tan y otros, 2001; Siok y otros, 2004). Estas regiones pueden tener un papel en la atención visuoespacial y en la codificación motora, y así ayudar a los lectores chinos a memorizar los varios miles de caracteres de su lengua. De hecho, como un ayudamemoria, los lectores chinos muchas veces vuelven a trazar mentalmente la secuencia espacial de los trazos que componen un carácter.

años setenta, China ha implementado un sistema oficial de transcripción para escribir chino. Este sistema se llama *pinyin*, palabra que significa “ensamblaje de sonidos”. Depende de las veintiséis letras de nuestro alfabeto latino, más una cantidad de grafemas como “zh”, “ch” y “ang”. La palabra que significa “banco”, por ejemplo, se transcribe *yínháng*. Los niños chinos muchas veces aprenden pinyin antes de aprender los caracteres chinos tradicionales, y, por eso, la generación más joven suele ser bilingüe, o, en realidad, “bigráfica”; es decir, los niños tienen dos puntos distintos de entrada visual a la misma lengua hablada. Sin embargo, las imágenes cerebrales muestran que las regiones activadas por estas dos formas de escritura se superponen casi completamente en la corteza ventral temporal izquierda.²⁸

El área de la caja de letras también muestra propiedades funcionales muy similares para lectores del chino y del alfabeto romano. En especial, prefiere caracteres chinos a formas visualmente similares sin significado (Kuo y otros, 2001). Esta propiedad es estrictamente análoga a la mayor respuesta a palabras que a secuencias de consonantes que se observa en lectores alfabéticos. Esto demuestra que esta región se ha adaptado a las restricciones de la escritura china. Más que letras, la región de la caja de letras de un lector chino debe contener una jerarquía de detectores ajustados a los marcadores fonéticos y semánticos que conforman la estructura interna de los caracteres chinos.

De hecho, conozco pocos datos que permitan avalar la idea de un reconocimiento “holístico” de los caracteres chinos. Los resultados experimentales disponibles sugieren, en cambio, que los caracteres chinos, de manera similar a las secuencias de letras, se codifican como una pirámide jerárquica de haces cada vez mayores de rasgos visuales. De este modo, un carácter chino puede ser facilitado por uno de sus fragmentos, de forma muy similar a aquella en la que una palabra del inglés [o castellano] puede ser facilitada por uno o varios de sus morfemas (“*hunt*” [cazar] o “caza” seguida por “*hunter*” o “cazador”) (Ding, Peng y Taft, 2004).

28 Chen y otros (2002), Fu y otros (2002). En algunos estudios, los caracteres chinos inducen una actividad algo mayor que la de las cadenas pinyin, presumiblemente porque se han sobreadquirido y se han vuelto más familiares que la escritura pinyin.

El japonés y sus dos formas de escritura

Mi colega Kimihiro Nakamura y yo también hemos estudiado la lectura del japonés.²⁹ Si uno abre cualquier diario japonés, se encuentra con una divertida mezcla de caracteres (figura 2.15). Muchos están en la notación *kanji*, un vasto conjunto de más de tres mil caracteres que se tomaron prestados del chino y representan las palabras y sus raíces. Sin embargo, otros están escritos en *kana*, otro conjunto de cuarenta y seis símbolos que representan las sílabas y pueden transcribir cualquier secuencia de los sonidos del habla japonesa. Algunos sustantivos se escriben tan frecuentemente en kanji como en kana, pero las palabras gramaticales, las terminaciones verbales, los adjetivos y los adverbios a menudo se escriben sólo en kana. De este modo, no es inusual que un verbo se transcriba usando una mezcla de kanji y kana.

A pesar de estas reglas complejas, tan marcadamente diferentes de las del inglés, los escaneos cerebrales de los lectores de japonés muestran que el reconocimiento visual del kanji y del kana también depende del área témporo-occipital izquierda (figura 2.15). En ambos casos, la activación se lateraliza al hemisferio izquierdo, y su pico coincide prácticamente con la localización del área de la caja de letras en los lectores de inglés. Más aún, el daño en esta región frecuentemente causa alexia pura tanto para kanji como para kana en los pacientes japoneses (Sakurai, Takeuchi y otros, 2000).

Si bien el cerebro reacciona de forma prácticamente igual a una y otra notación, el escrutinio cuidadoso revela unas pocas diferencias. En las regiones visuales tempranas del polo occipital, las palabras presentadas en kana provocan apenas más activación que aquellas presentadas en kanji, tal vez porque muchas de ellas están compuestas de varios caracteres y por eso se extienden un poco más lejos en la retina. A la inversa, las palabras escritas en kanji producen más activación en una pequeña área bilateral del lóbulo ventral temporal, tal vez porque requieren un modo de percepción más global u "holístico". Los estudios de lesiones también confirman que las redes de lectura del cerebro no son idénticas para kanji y kana. Por ejemplo, limitado a algunos pocos

29 Nakamura y otros (2005). Resultados similares constan en Ha Duy Thuy y otros (2004) y, gracias al uso de magnetoencefalografía, Koyama y otros (1998). También se ha estudiado la lectura coreana con resultados similares (Lee, 2004).

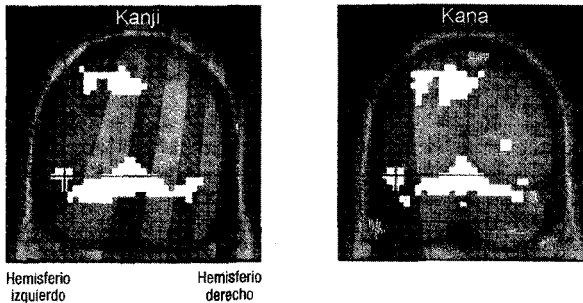
Caracteres kanji

神	/kami/	dios
神社	/jiN-ja/	templo
神経	/shiN-kei/	nervio
精神	/sei-shiN/	mente
神主	/kaN-nushi/	sacerdote

Caracteres Kana

か	/ka/	
かみ	/ka-mi/	papel
かさ	/ka-sa/	paraguas
あか	/a-ka/	rojo
たから	/ta-ka-ra/	tesoro

Redes activas en general



Diferencias entre las dos notaciones

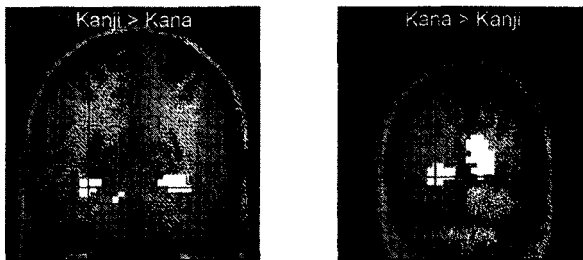


Figura 2.15. La lectura de caracteres japoneses activa una región esencialmente idéntica a la que se encontró en los lectores de inglés. El japonés tiene dos sistemas de escritura distintos. Los caracteres kanji, que son más de mil, denotan los significados de las palabras y las raíces de las palabras (columna de la izquierda), mientras que los cuarenta y seis caracteres kana denotan sílabas (columna de la derecha). A pesar de estas diferencias, ambas notaciones apelan a la misma región témporo-occipital, en una localización virtualmente idéntica a la que se encuentra en lectores del alfabeto latino. Sólo se ven diferencias sutiles: los caracteres kanji ocupan más las regiones temporales de la línea media de ambos hemisferios, mientras que los caracteres kana generan una activación un poco mayor en el polo occipital (tomado de Nakamura y otros, 2005).

casos, en un paciente que ha tenido un ataque cerebral puede persistir la habilidad para leer en una forma de escritura pero no en la otra (Sasanuma, 1975; Sakurai, Momose y otros, 2000; Sakurai, Takeuchi y otros, 2000; Sakurai, Ichikawa y Mannen, 2001). Así, las dos notaciones probablemente dependen de diferentes microterritorios de la corteza, aunque estén localizadas dentro de la misma área general.

En una escala más amplia, el reconocimiento visual de palabras claramente se basa en mecanismos cerebrales universales. En todas las culturas, la misma zona en la región ténporo-occipital izquierda está a cargo del reconocimiento de la palabra escrita, y adapta perfectamente su arquitectura jerárquica a los requerimientos específicos de cada sistema de escritura.

Más allá de la “caja de letras”

Cualquier palabra que leemos se canaliza, inicialmente, hacia el área de la caja de letras, que tiene un rol universal y dominante en el reconocimiento de la escritura. Sin embargo, ¿qué ocurre más allá de esta etapa inicial, una vez que la forma de una palabra se analizó en letras, grafemas y morfemas? ¿Dónde va esta información? ¿Qué rutas corticales nos permiten recuperar la pronunciación y el significado de las palabras?

La anatomía puede utilizarse para rastrear las principales fibras nerviosas que transmiten información del sistema visual al resto del cerebro. La resonancia magnética por difusión ha comenzado a revelar que grandes haces de conexiones unen las áreas corticales del cerebro. En especial, se ha detectado recientemente una vía principal, el haz longitudinal inferior, que corre a través del lóbulo temporal desde la parte posterior del cerebro a su polo anterior (Catani y otros, 2003). La anatomía de este haz sugiere que recolecta información de todas las áreas del cerebro que están involucradas en la visión, incluida el área de la caja de letras, y la traslada más lejos, a lo largo del lóbulo temporal. Además de esta vía cortical principal, existen fibras locales con forma de U que conectan regiones temporales sucesivas y establecen, de este modo, una cadena de propagación de información hacia delante (figura 2.16). Todos estos cables nerviosos, que están recubiertos de un aislante biológico llamado mielina, permiten la transmisión muy rápida de las palabras escritas a todo el lóbulo temporal.

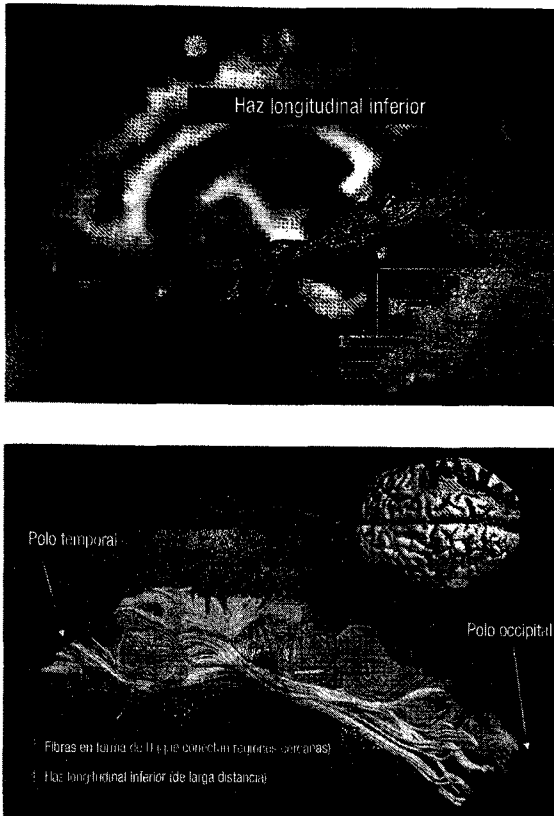


Figura 2.16. La región t́mporo-occipital izquierda, que se encuentra en la parte posterior del cerebro, analiza las palabras escritas y transmite los resultados a otras ́reas distantes a trav́s de vastos haces de fibras que ahora pueden visualizarse con resonancia magnética de difusi3n. La imagen muestra la reconstrucci3n de una importante ruta anat3mica, el fascículo longitudinal inferior, que se proyecta hacia el frente del l3bullo temporal. A lo largo de la superficie cortical, muchas fibras con forma de U tambi3n conectan las regiones cercanas paso a paso (tomado de Catani y otros, 2003). Usado con permiso de Oxford University Press.

Debería tenerse en cuenta, sin embargo, que las imágenes cerebrales sólo nos permiten ver las estructuras más importantes del cerebro humano sin entrar en sus detalles más finos.

Es probable que algunas pequeñas conexiones, tal vez de igual importancia desde un punto de vista funcional, no estén prolijamente agrupadas en secciones de escala macroscópica y que por lo tanto nuestros métodos de imágenes cerebrales actuales no puedan distinguirlas. Solamente un microscopio puede revelar el cableado cerebral con todos sus detalles. Un estudio post mórtem realizado por anatomistas de Lausana, Suiza, ha evidenciado que, en el cerebro humano, las neuronas del lóbulo temporal ventral transmiten información a regiones del cerebro que están mucho más distantes y dispersas que lo que nos habían llevado a creer las investigaciones hechas en monos (Di Virgilio y Clarke, 1997). Como estos extraños conductores son esencialmente invisibles cuando se los estudia con resonancia magnética, los científicos que llevaron a cabo este estudio se vieron obligados a esperar a que se diera un conjunto de circunstancias muy especial. Por pura coincidencia, uno de sus pacientes, que inicialmente había sufrido un ataque cerebral en la región temporo-occipital derecha, murió, por una causa no vinculada con el ataque, tres semanas después. Los anatomistas utilizaron un marcador químico para detectar las terminaciones nerviosas que habían muerto recientemente. Este proceso reveló todas las conexiones directas del área dañada. Los resultados fueron sorprendentes. Mostraron que esta pequeña área visual derecha se proyectaba a un conjunto de regiones corticales notablemente diverso; y en particular, a través de la línea media del cerebro hacia el hemisferio izquierdo. Se encontraban conexiones prácticamente en todos lados, pero su densidad tenía un pico en las áreas del lenguaje; especialmente en el área de Broca (corteza frontal inferior) y el área de Wernicke (la parte posterior de la corteza temporal superior).

Si asumimos que la organización del cerebro es simétrica, se puede con certeza llegar a la conclusión de que el área de la caja de letras situada en el hemisferio izquierdo también envía un número comparable de proyecciones a las mismas regiones en ambos hemisferios. Este breve estudio sobre la conectividad cerebral, entonces, sugiere que esta región temporo-occipital actúa como un tablero esencial para el circuito de la lectura. Desde este punto central, las conexiones se propagan en todas las direcciones y transmiten la identidad de una palabra a muchas otras áreas corticales en paralelo.

La prueba directa del fenómeno de transmisión fue obtenida por Ksenija Marinković, Anders Dale, Eric Halgren y sus colegas del MIT.

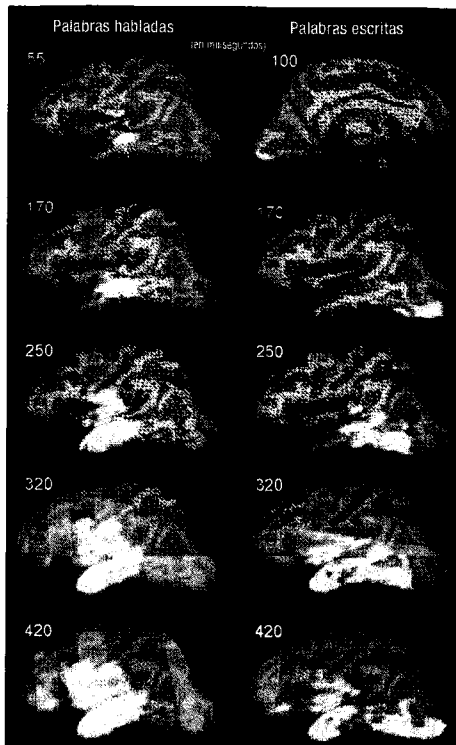


Figura 2.17. El trayecto inicial de la información de entrada difiere en función de si oímos o leemos una palabra, pero la actividad cortical luego converge en el mismo conjunto de áreas del lenguaje. Cada imagen, obtenida con magnetoencefalografía, representa una instantánea de la actividad en la superficie cortical en un momento diferente luego del inicio de una palabra. Para facilitar la visualización, los pliegues de la corteza humana se han alisado a través de un algoritmo computacional. Durante la lectura (columna de la derecha), la activación comienza en el polo occipital alrededor de los 100 milisegundos. Alrededor de los 170 milisegundos, se extiende a la región temporo-occipital izquierda, "la caja de letras del cerebro", que extrae la forma visual de la palabra. Inmediatamente después, ocurre una explosión de actividad en múltiples regiones temporales y frontales del hemisferio izquierdo, la mayoría de las cuales se comparten con el procesamiento de la palabra hablada (columna de la izquierda) (tomado de Marinković y otros, 2003). *Usado con permiso* de Neuron.

Por primera vez, consiguieron rastrear la propagación de una palabra escrita en el cerebro en tiempo real.³⁰ Gracias a una máquina de magnetoencefalografía moderna con 204 canales, midieron los campos magnéticos minúsculos generados en el cerebro cuando muchas de sus neuronas se activan sincrónicamente. También desarrollaron nuevos programas de computación que convirtieron estas señales en una suerte de película acerca de la activación del cerebro mientras esta se desplegaba en la superficie de la corteza. Dicha película reveló los lapsos temporales de los mecanismos cerebrales asociados a la lectura (figura 2.17). Por supuesto que fue sólo una reconstrucción, no una mirada directa a la corteza; pero nunca antes se había obtenido una imagen tan realista de la forma en que una palabra avanza a través del cerebro.

Como se esperaba, la película mostró que la activación comenzaba en el polo occipital, que está asociado al procesamiento visual temprano. Aproximadamente 170 milisegundos más tarde, se lateralizaba fuertemente al hemisferio izquierdo y se focalizaba precisamente en la zona de la caja de letras. Luego, de repente, sólo 250 milisegundos después de la aparición de la palabra, había un gran estallido de actividad. La estimulación se propagaba extensivamente hacia los lóbulos temporales y activaba las regiones temporales superior, media e inferior de ambos hemisferios. Por último, luego de 300 milisegundos, se lateralizaba aún más fuertemente hacia el hemisferio izquierdo, con una extensión hacia el polo temporal, la ínsula anterior y el área de Broca. Este patrón intenso de activación continuaba por varios cientos de milisegundos, con una incursión en las regiones frontales y un regreso sorprendente a las regiones visuales posteriores.

Lo que me parece más interesante de este experimento es que, luego de más o menos 250 milisegundos, las áreas activadas dejaban de estar exclusivamente restringidas a la visión; una palabra hablada podía activarlas a todas de igual modo. Por tanto, dentro de la reacción cortical en cadena que acompaña la lectura, el área de la caja de letras es la última región que está reservada exclusivamente al procesamiento visual de las palabras. Luego de este punto, las áreas de la visión del cerebro empiezan a trabajar en una colaboración muy cercana con las redes del lenguaje hablado.

30 Marinković y otros (2003). Véase también Pammer y otros (2004) para contar con imágenes globalmente similares, más una sugerencia adicional de sorprendente activación temprana de la región frontal izquierda inferior.

Sonido y significado

En el capítulo 1 vimos que los psicólogos postulaban un modelo de doble ruta para la lectura. Sostenían que en el cerebro se encuentran dos rutas paralelas que pueden utilizarse de forma simultánea, según lo que se tiene que leer:

- Las palabras usadas con poca frecuencia o los neologismos se leen a través de una ruta fonológica que convierte cadenas de letras en sonidos del habla.
- Las palabras que se usan frecuentemente y aquellas cuya escritura no se corresponde con su pronunciación se reconocen gracias a un léxico mental que nos permite acceder a su identidad y significado.

Una serie completa de experimentos de imágenes cerebrales se ha basado en esta teoría para decidir qué áreas del cerebro se concentran más en la pronunciación y cuáles computan la identidad y el significado de las palabras.

Para probar el modelo de doble ruta a nivel cerebral pueden utilizarse dos estrategias diferentes. La más sencilla consiste en la medición de la actividad cerebral mientras un voluntario lee diferentes tipos de cadenas de letras. Aunque la tarea es fija, los estímulos varían, y están diseñados para activar óptimamente una de las dos rutas de lectura. Por ejemplo, algunos experimentos han contrastado la lectura de palabras reales, como "casa" o "pantalones", con la de seudopalabras, como "cafa" o "pangalotes" (Fiez y otros, 1999; Hagoort y otros, 1999; Tagamets y otros, 2000; Bokde y otros, 2001; Xu y otros, 2001; Cohen y otros, 2002; Fiebach y otros, 2002; Simos, Breier y otros, 2002; Binder y otros, 2003). Las regiones que muestran la mayor respuesta a las palabras se consideran parte de la ruta léxica, mientras que se piensa que las regiones que muestran más activación para las seudopalabras están involucradas en la ruta fonológica directa. De hecho, ya que no hay una entrada para "cafa" en el léxico mental, una cadena como esa puede leerse únicamente si se utiliza una conversión de ortografía a sonido.

También se han utilizado contrastes más sutiles. Por ejemplo, ¿la frecuencia de las palabras modula la activación cerebral, de manera que las palabras utilizadas con poca frecuencia como "sextante" o "cáliz" se comportan de manera más similar a las seudopalabras y siguen la ruta de conversión de ortografía a sonido? Las regiones cerebrales ¿diferencian las palabras cuya pronunciación corresponde a su forma escrita,

como, en el inglés, “*bloom*” ([blu:m] - florecer) de palabras donde esto no ocurre, como el vocablo inglés “*blood*” ([blʌd] - sangre)? El modelo psicológico de doble ruta sostiene que las primeras tienden a ser procesadas a través de la ruta de conversión de ortografía a sonido, mientras que las últimas sólo pueden ser leídas correctamente si primero son reconocidas por el léxico mental.³¹

Un segundo método, que complementa el anterior, consiste en la presentación de una única lista de palabras con tareas diferentes (Pugh y otros, 1996; Price y otros, 1997; Friederici, Opitz y Von Cramon, 2000; Booth y otros, 2002; Cohen, Jobert y otros, 2004), elegidas porque hacen énfasis selectivamente en información perteneciente a una de las rutas cerebrales. Por ejemplo, en un bloque de ensayos, se les pide a los participantes que decidan si dos palabras riman; una tarea fonológica que hace hincapié en la conversión de grafemas en fonemas y en la representación mental de sonidos del habla. En la otra parte, se les pide que evalúen si las palabras son sinónimos o no; una tarea semántica que requiere acceso al léxico mental y dirige la atención hacia el significado. Por último, hay una tarea ortográfica en la que los mismos participantes deben decidir si dos palabras terminan con las mismas letras, sin importar cómo suenen (por ejemplo, “*napkin*” - servilleta, [ˈnæpkɪn] y “*mountain*” - montaña, [ˈmaʊntɪn]); un juicio ortográfico que puede amplificar la información ortográfica en el cerebro. En cada caso, se espera que la actividad cerebral se incremente en las áreas que codifican información en el formato requerido para realizar la tarea.

Por lo general, estos dos métodos llegan a los mismos resultados (revisiones recientes de la investigación en estos campos constan en Fiez y Petersen, 1998; Price, 1998; Jobard, Crivello y Tzourio-Mazoyer, 2003; Mechelli, Gorno-Tempini y Price, 2003; Price y otros, 2003). Las dos rutas de lectura corresponden, de hecho, a dos redes de áreas cerebrales distintas (figura 2.18). Es correcto, entonces, sostener que dos redes separadas se dedican al sonido y al significado. El modelo psicológico parece estar en gran medida respaldado por los resultados de las imágenes cerebrales.

³¹ Los ejemplos utilizados en este planteo son intraducibles al español, ya que su sistema de escritura es más bien transparente, y son casi inexistentes los casos en que la forma escrita de una palabra no se corresponde con su pronunciación. [N. de la T.]

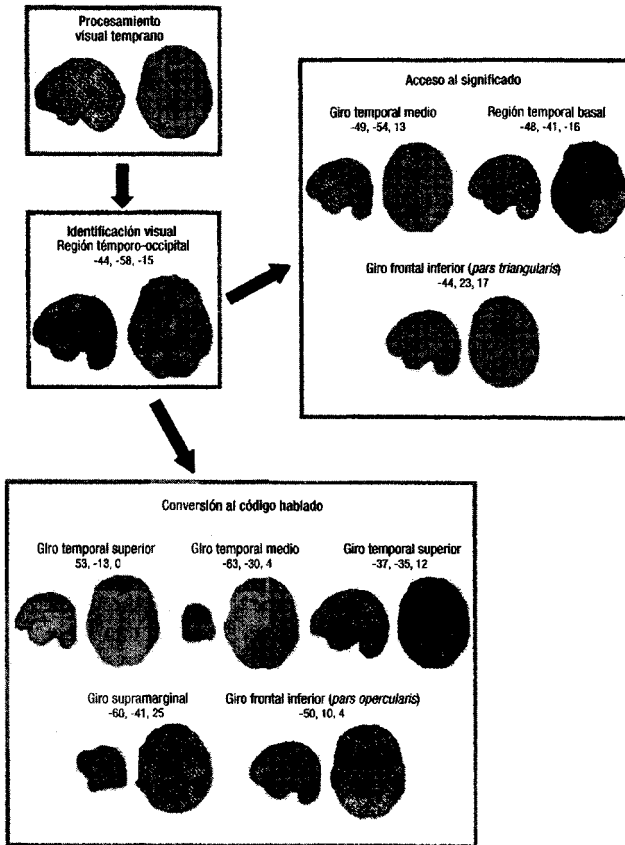


Figura 2.18. Las dos rutas de lectura, que permiten el acceso al significado o a los sonidos del habla, involucran distintos conjuntos de áreas cerebrales. Este reanálisis de docenas de experimentos muestra que, luego de un período compartido de procesamiento visual (arriba a la izquierda), dos conjuntos importantes de circuitos corticales diferencian el acceso al significado de las palabras (arriba a la derecha) de la decodificación de letras en sonidos del habla (abajo). Los dos circuitos están entrelazados y ocasionalmente colindan en la misma región anatómica. En la corteza inferior frontal, por ejemplo, parecen cohabitar las distintas regiones cercanas del significado y de la articulación (tomado de Jobard, Crivello y Tzourio-Mazoyer, 2003). *Usado con permiso de Neuroimage.*

De la ortografía al sonido

La ruta cerebral que se utiliza para decodificar letras en sonidos involucra esencialmente las regiones superiores del lóbulo temporal izquierdo, que son conocidas por su rol en el análisis de la palabra hablada. Las cortezas inferior prefrontal y precentral izquierdas, que contribuyen a la articulación, también están comprometidas, pero en el lóbulo temporal superior es donde las letras visuales y los sonidos hablados se encuentran por primera vez. Esto se demuestra claramente en un experimento simple ilustrado en la figura 2.19 (Van Atteveldt, Formisano, Goebel y Blomert, 2004). Durante la resonancia magnética funcional, a los participantes se les hizo mirar letras o escuchar sonidos de habla, o bien realizar ambas tareas simultáneamente. En el caso en que se les presentaban ambas al mismo tiempo, la letra y el sonido eran congruentes (por ejemplo, la letra “o” y el sonido *o*) o incongruentes (la letra “a” y el sonido *o*). Una vasta porción del lóbulo temporal superior respondió al ver la letra, pero solamente una pequeña subregión llamada *planum temporale* reaccionó a las letras y sonidos compatibles. En esta localización cortical, un sonido que coincide con una letra aumenta la actividad cerebral, y un conflicto entre la letra y el sonido la reduce. Gracias a la magnetoencefalografía, este efecto puede ser cronometrado con precisión. La conversión de una letra en un sonido comienza sólo 225 milisegundos después de que la letra aparece en la retina, y su compatibilidad con un sonido hablado se reconoce luego de aproximadamente 400 milisegundos (Raij, Uutela y Hari, 2000).

Varios indicios sugieren que el *planum temporale* es una de las regiones más cruciales para la decodificación del habla. Es asimétrico, con una superficie más grande en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Muchos investigadores ven esta asimetría anatómica como una de las causas más probables de la lateralización del lenguaje al hemisferio izquierdo. No sólo el *planum temporale* izquierdo ya es más grande que el derecho antes del nacimiento, sino que también los cerebros de los niños se activan ya de forma poderosa y asimétrica cuando escuchan hablar en los primeros meses de vida (Dehaene-Lambertz y Dehaene, 1994; Dehaene-Lambertz y Baillet, 1998; Dehaene-Lambertz, Dehaene y Hertz-Pannier, 2002). Durante la niñez, esta región aprende rápidamente a procesar sonidos del habla relevantes en la lengua materna y a ignorar los innecesarios (Dehaene-Lambertz, 1997; Näätänen y otros, 1997; Cheour y otros, 1998; Jacquemot y otros, 2003). Un hablante nativo de japonés, por ejemplo, como todos sabemos, no puede escuchar

la diferencia entre una *r* y una *l*, ya que estos sonidos no se utilizan para diferenciar palabras en esa lengua. Este peculiar tipo de "sordera lingüística" surge en el *planum temporale* izquierdo y las regiones cercanas: hacia el final del primer año de vida, estas áreas pierden su habilidad de distinguir una *r* de una *l*.

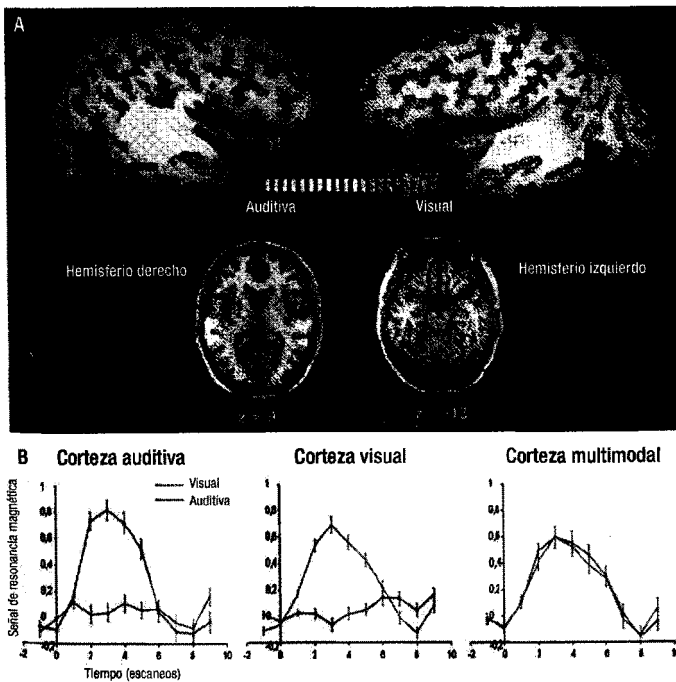


Figura 2.19. La región temporal superior contribuye a la conversión de letras en sonidos. Las imágenes cerebrales separan fácilmente las áreas visuales, que se activan con las formas de las letras, de las áreas auditivas, que se activan por sonidos del habla. Una parte de la corteza temporal superior, en blanco, es multimodal, lo que significa que se activa tanto con el sonido como con lo que se ve. Dentro de estas regiones, los sectores más pequeños son sensibles al hecho de que una letra y un sonido que se oye simultáneamente concuerden o no (tomado de Van Atteveldt y otros, 2004). *Adaptado con el permiso de Neuron.*

Como es un punto de encuentro para la información de entrada visual y auditiva, el *planum temporale* desempeña, sin duda, un papel importante cuando los niños pequeños aprenden a leer. Es más, está idealmente equipado para aprender la correspondencia entre letras y sonidos. Cuando un principiante aprende a decodificar las letras “b” y “a” para formar el sonido *ba*, su *planum temporale* recibe la información de entrada, tanto de letras como de sonidos, y puede, entonces, establecer la relación entre ellas. Más adelante, los vínculos entre grafemas y fonemas se hacen automáticos. La conversión de letras en sonidos se hace tan automática que la letra “A” emparejada con el sonido erróneo *o* hace que nuestra corteza temporal superior emita una señal de incongruencia pasajera.

Aún no han se ha comprendido de forma completa qué caminos precisos se utilizan para la conversión de letras en sonidos. En el caso de una letra aislada, la región temporal superior probablemente reciba información directamente de las áreas visuales tempranas. Sin embargo, cuando la información de entrada es una cadena de letras completa, es necesario un procesamiento complejo para analizarla en grafemas y sílabas. Este proceso es serial por naturaleza y probablemente emplea la región parietal inferior que se encuentra justo por encima del *planum temporale* (Simon y otros, 2002). Esta región, junto con parte del área de Broca (la región opercular), crea un circuito fonológico que se encuentra involucrado cada vez que recitamos algo mentalmente. Pertenece a un bucle articulatorio o fonológico que usamos cuando, por ejemplo, almacenamos un número de teléfono en la memoria verbal (Paulesu, Frith y Frackowiak, 1993). Este retén, o espacio de almacenamiento, es probablemente esencial para la pronunciación de palabras escritas largas; por ejemplo, para descifrar una fórmula farmacéutica como *ácido acetilsalicílico* (aspirina).

Avenidas que conducen al significado

La red cerebral que analiza el significado de las palabras es bastante distinta de aquella que convierte las letras en sonidos. La semántica moviliza una matriz extendida de regiones, algunas de las cuales se muestran en la figura 2.18. Es significativo que ninguna de ellas es exclusiva de la palabra escrita. Más aún, todas se activan tan pronto como pensamos en los conceptos que transmiten las palabras habladas (Binder y otros, 1999, 2000; Kotz y otros, 2002) o incluso las imágenes (Vandenberghe y

otros, 1996). De hecho, pueden localizarse fácilmente con una prueba clásica de asociación de imágenes, en la que se le pide a una persona que juzgue, frente a tres imágenes (por ejemplo, una pirámide, una palmera y un martillo), cuáles serían las dos que mejor van juntas.

Una propiedad peculiar e inherente a algunas de estas regiones semánticas es que pueden estar activas aun antes de que a un voluntario se le pida que realice una tarea específica. La región tèmporo-parietal posterior, en particular, está activa incluso mientras descansamos en la oscuridad. Típicamente, no se activa más cuando un voluntario escucha o ve palabras, pero "se desactiva" hasta un punto más bajo que el nivel de base inicial siempre que se presenta una pseudopalabra sin sentido (Binder y otros, 1999, 2000; Kotz y otros, 2002). ¿Por qué sucede de este modo? En el momento en que nos despertamos, nuestro cerebro está sin demora activo y consciente de lo que está ocurriendo alrededor de él. Este proceso de reflexión mental apela en forma espontánea a una red semántica que manipula palabras e imágenes, y así muchas de las áreas involucradas están activas incluso cuando estamos descansando. Por este rumor constante de actividad mental, la resonancia magnética funcional no tiene un cero absoluto que permitiría identificar con facilidad cualquier activación cerebral adicional que fuera ocasionada por un estímulo externo. En algunas regiones como el giro angular, la lectura de palabras con significado causa tanta actividad como el rumor continuo, y por eso no produce cambio adicional alguno, como si la lectura no afectase esa área. Sin embargo, cuando recibimos un estímulo que *no* tiene sentido, como la pseudopalabra "colaro", la actividad espontánea sufre un breve lapsus y causa una "desactivación" temporal; una disminución aparente de la activación que sugiere que esta área estaba, de hecho, involucrada activamente en la lectura de palabras.

Como su activación fluctúa constantemente, incluso en el estado de descanso, las áreas cerebrales que codifican significado no pueden visualizarse fácilmente de forma directa, sino que deben estudiarse con métodos experimentales refinados. Uno de estos, que ya se presentó en este libro, es el método de *priming*. Consideremos las palabras "causa" y "motivo", cuyos significados son en esencia idénticos incluso si sus letras son diferentes. Joe Devlin y sus colaboradores (Devlin y otros, 2004) les presentaron a voluntarios sinónimos como estos, en pares, donde la primera palabra se presentaba en forma subliminal, y únicamente la segunda palabra se veía en verdad. Notaron que sólo un área del cerebro, la región temporal media izquierda, reconocía la si-

militud entre ellas a pesar de la diferencia superficial. Esta área se activaba menos por dos sinónimos que por dos palabras con significados no relacionados, como “poder” y “motivo”, lo que sugería que estaba activa por un tiempo más largo cuando tenía que codificar dos significados diferentes, pero los sinónimos solamente la activaban una vez. Con algunas elegantes manipulaciones, Devlin y sus colegas mostraron una diferencia importante en la forma en que las palabras son codificadas por las regiones media y ventral del lóbulo temporal izquierdo. Como ya expliqué en profundidad, el área ventral de la caja de letras sólo lidia con la codificación visual de las letras. Devlin descubrió que su actividad disminuía siempre que las palabras se parecían visualmente (“cazar” y “cazador”), incluso si sus significados no tenían relación (“coro” y “corona”). Más aún, esta región no se percataba de que “causa” y “motivo” significaban casi lo mismo, exactamente lo que esperaríamos si esta región se enfocara por completo en la ortografía de estas palabras. Por el contrario, la corteza temporal media izquierda manifestaba una sensibilidad clara a los pares de palabras que estaban semánticamente relacionados, tales como “causa”/ “motivo” y “cazar”/ “cazador”. No se veía engañada por pares superficialmente similares como “coro”/ “corona”.

Otros estudios confirman que esta segunda región está dedicada al significado de las palabras individuales. En los lectores de japonés, esta es la única región que reconoce que una palabra es la misma sin importar si se la escribe en kanji o en kana, dos formas de escritura que no están visualmente relacionadas (Nakamura y otros, 2005). También es sensible a las relaciones semánticas entre palabras habladas, más que a las relaciones entre palabras escritas (Rissman, Eliassen y Blumstein, 2003). Entonces, esta región parece codificar fragmentos del significado de una palabra, sin importar cómo uno llega al significado, ya sea por medio de una imagen, una palabra hablada o una secuencia escrita.

Las redes cerebrales del significado, sin embargo, no se limitan a procesar simplemente las palabras aisladas. Las regiones cercanas a la parte anterior del lóbulo temporal parecen concentrarse en las combinaciones de significados que alcanzan las palabras cuando se las ensambla en oraciones (Mazoyer y otros, 1993; Price y otros, 1997; Vandenberghe, Nobre y Price, 2002). Otra región que se encuentra más allá de la corteza frontal inferior parece seleccionar un significado entre varios; se activa, junto con las regiones temporales, cuando escuchamos oraciones que contienen muchas palabras ambiguas, como “Vino sin control para el banco” (Thompson-Schill, D’Esposito y Kan, 1999; Rodd, Davis y

Johnsrude, 2005). Piense en cómo estas áreas cerebrales deben buscar una condición estable cuando se leen los siguientes titulares ambiguos:

Incorpore a sus hijos cuando hornee galletas

Se retrasa la educación sexual, los docentes piden entrenamiento³²

En términos generales, aunque los investigadores han logrado detectar varias de las áreas relevantes del cerebro, todavía es un problema sin resolver cómo se codifica realmente el significado en la corteza. Este proceso que permite que nuestras redes neuronales se conecten y "tengan sentido" todavía sigue siendo misterioso. Sabemos, sin embargo, que el significado no puede estar confinado a sólo unas pocas regiones cerebrales y probablemente dependa de vastos conjuntos de neuronas distribuidas a través de la corteza, de las cuales las regiones frontal y temporal de la figura 2.18 son solamente la punta del iceberg. Aunque estas regiones se activan cuando accedemos al punto esencial de la palabra, probablemente no almacenen el significado en sí mismo, sino que meramente facilitan el acceso a información semántica distribuida en otros lugares de la corteza. De acuerdo con el neurólogo Antonio Damasio (1989a, 1989b), bien pueden operar como "zonas de convergencia" que reúnen y envían señales a muchas otras regiones. Así, es muy probable que recolecten fragmentos dispersos de significado y los unan en conjuntos articulados de neuronas que constituyan el sustrato neuronal genuino del significado de las palabras.

Tomemos el verbo "morder". Mientras recordamos lo que significa, nuestra mente evoca las partes del cuerpo involucradas: la boca y los dientes, sus movimientos y tal vez también el dolor asociado a ser mordido. Todos estos fragmentos de gestualidad, movimiento y sensación están unidos bajo el título "morder". Este vínculo opera en ambas direcciones: pronunciamos la palabra siempre que hablamos sobre esta serie peculiar de eventos, y escuchar o leer la palabra trae una multitud de significados.

La región temporal lateral parece tener un papel esencial en la mediación entre las formas de las palabras y los elementos que constituyen su significado. Esta región puede subdividirse en subregiones que se especializan en diferentes categorías de palabras. Rostros, personas, animales, herramientas, vegetales... todas estas categorías parecen pro-

32 Conste mi agradecimiento a <monster-island.org/tinashumor>.

yectarse en regiones parcialmente distintas: el lóbulo parietal para números y partes del cuerpo, el área occipital V4 para colores, el área V5 para movimiento, las áreas parietales precentral y anterior para acciones y gestos, el área 10 de Brodmann para intenciones y creencias, el polo temporal para nombres propios...

Aquí, otra vez, las lesiones cerebrales nos han provisto de información única y peculiar. No es inusual que un ataque cerebral prive selectivamente a un paciente de un dominio restringido de conocimiento. Algunos pacientes, por ejemplo, pierden todo el conocimiento hablado y escrito acerca de los animales y no pueden incluso reconocerlos en imágenes (Warrington y Shallice, 1984; Caramazza y Hillis, 1991; Caramazza, 1996, 1998; Shelton, Fouch y Caramazza, 1998). No pueden responder a preguntas simples como “¿Dónde vive un león?” o “¿De qué color es un elefante?”. Pero sí retienen conocimiento normal sobre otros dominios como verbos, herramientas o personas famosas. En otros pacientes, los animales están preservados, pero otra categoría se ha perdido. Algunos sitios específicos de lesión, dispersos por los lóbulos temporal y frontal izquierdos, tienden a estar asociados a estos deterioros de categoría específica (Damasio y otros, 1996; Grabowski, Damasio y Damasio, 1998). Las imágenes cerebrales funcionales también han ayudado a refinar el conocimiento acerca de estas localizaciones: cada vez que pensamos en sustantivos o verbos, animales o herramientas, se activan distintas regiones corticales (Martin y otros, 1996; Chao, Haxby y Martin, 1999; Beauchamp y otros, 2004).

Las distinciones semánticas más finas todavía deben explorarse. Recientemente, Friedemann Pulvermüller y sus colegas compararon la respuesta cerebral a palabras que pertenecían a la misma categoría de verbos de acción, pero tenían diferencias sutiles de contenido. Algunos verbos como “morder” o “besar” evocaban movimientos de la boca; otros, acciones de la mano (“escribir”, “arrojar”) y otros, acciones realizadas por las piernas y los pies (“patear”, “caminar”) (Pulvermüller, 2005). Se observó una sorprendente fragmentación del significado: cada uno de los tipos de verbos activaba un sector distinto de la corteza premotora, en la localización representada en el “homúnculo motor” o mapa de nuestro cuerpo. Así, el significado de las palabras parece estar literalmente encarnado en nuestras redes cerebrales. Una cadena de letras sólo tiene sentido si evoca, en unos pocos cientos de milisegundos, un sinnúmero de rasgos dispersos en los mapas sensoriales, motores y abstractos que el cerebro posee para la localización espacial, el número, la intención.

Al unir cada forma de palabra a sus rasgos semánticos, las conexiones jerárquicas del lóbulo temporal resuelven lo que se ha llamado el problema de base del significado. Como proponía Ferdinand de Saussure, las formas y los significados están relacionados arbitrariamente: cualquier cadena de letras puede representar cualquier concepto. Cuando aprendemos una lengua, sin embargo, esta arbitrariedad cesa. No podemos evitar ver un animal detrás de la palabra "león", y para nosotros es imposible leer la palabra "alfiler" como un verbo; cada una de estas palabras ha quedado sólidamente unida, por conexiones del lóbulo temporal, a las muchas neuronas dispersas que le dan un significado.

Una marejada cerebral

Tal vez la forma más fácil de describir cómo se propaga la activación a través de las docenas de fragmentos de significados dispersos en el cerebro es compararla a una marejada. Algunos ríos están sujetos, dos veces al día, durante la marea alta, a un fenómeno particular en el que el borde de una gran ola llega a la profundidad de sus estuarios. Si las condiciones son las correctas, la ola puede viajar docenas de kilómetros aguas arriba. El agua salada nunca llega tan lejos tierra adentro: la marejada simplemente transmite un aumento distante del nivel del agua que se extiende en sincronía dentro del entero sistema del río. Sólo un avión o un satélite permiten ver la medida real de este hermoso fenómeno natural. Por unos pocos minutos, toda una red de arroyos crece en simultáneo a causa de una poderosa sobrecarga de agua, simplemente porque todos desembocan en el mismo mar.

Una palabra escrita o hablada probablemente activa fragmentos de significado en el cerebro de una forma muy similar a la de una marejada cuando invade por completo el lecho de un río. Si comparamos una palabra como "queso" con una no palabra como "mameplo", la única diferencia reside en el tamaño de la marejada cortical que pueden provocar. Una palabra conocida resuena en las redes del lóbulo temporal y produce una ola enorme de oscilaciones sincronizadas que pasan a través de millones de neuronas. Esta marejada llega incluso hasta las regiones más distantes de la corteza mientras contacta sucesivamente los muchos ensamblajes de neuronas que codifican, cada uno, un fragmento del significado de la palabra. Sin embargo, incluso si una palabra desconocida pasa las primeras etapas del análisis visual, no encuentra eco

en la corteza y la ola que desencadena rápidamente se transforma en espuma cerebral inarticulada.

¿Se puede seguir en tiempo real la marejada cerebral? En 1995, di una simple demostración de la sorprendente velocidad a la cual opera el acceso léxico durante la lectura (Dehaene, 1995). Mi experimento consistió en hacer grabaciones del electroencefalograma de sesenta y cuatro electrodos mientras un grupo de voluntarios examinaba secuencias de letras. Algunas de estas, como "PGQLST", consistían solamente en consonantes y, por eso, violaban las reglas básicas de escritura del inglés. Otras constituían palabras que pertenecían a cuatro categorías: números, nombres propios, animales y verbos de acción. Al seguir los cambios de voltaje sobre la superficie del cráneo milisegundo a milisegundo, pude determinar la duración de dos etapas esenciales de la lectura: el filtro ortográfico, que acepta secuencias legales de letras, y el filtro semántico, que selecciona palabras de acuerdo con su significado. Solamente fueron necesarios 180 milisegundos para que las secuencias de consonantes fueran separadas de las palabras reales. La topografía de la prueba sugirió que este filtro temprano tuvo lugar en la región tétoro-occipital izquierda de la caja de letras. Significativamente, sólo hicieron falta 80 milisegundos más para que las cuatro categorías de palabras comenzaran a activar distintos sectores de la corteza. Es decir que sólo pasó un cuarto de segundo antes de que la marejada llegara a las orillas del significado.

Hoy en día, las técnicas de magnetoencefalografía más avanzadas nos permiten seguir la ola de la activación cerebral no solamente sobre el cráneo, sino también en la superficie cortical en sí misma. Con esta tecnología, pueden hacerse películas, en cámara lenta, que revelen la sucesión de áreas que recorre una sola palabra. Panagiotis Simos y sus colaboradores de la Universidad de Texas utilizaron estas herramientas para trazar la trayectoria cortical de las palabras mientras tomaban caminos cerebrales diferentes. Simplemente les pidieron a los participantes que leyeran secuencias de letras que pertenecían a tres categorías:

- Seudopalabras o secuencias de letras sin sentido como "trid" o "plosh" que respetaban las reglas de escritura del inglés. Como estas secuencias no tienen una entrada en el léxico mental, solamente pueden leerse a través de la ruta de conversión de ortografía en sonido, que aplica reglas de pronunciación sin importar el significado. Se esperaba, entonces, que estas secuencias activaran las áreas

temporales superiores asociadas con los sonidos del habla, pero no las áreas temporales medias asociadas al significado.

- Seudohomófonos o cadenas de letras como "hed" o "wimen"³³ que suenan como palabras, pero están mal escritas. Otra vez, estos estímulos únicamente pueden pronunciarse a través de la ruta de conversión de la ortografía en sonido. Sin embargo, una vez que se recupera su pronunciación, evocan un significado. Uno esperaría, entonces, que la activación del cerebro comenzara en la corteza temporal superior y luego se expandiera a la corteza temporal media.
- Por último, palabras reales como "have" [tener] o "eye" [ojo], que son frecuentes en inglés pero cuya pronunciación es irregular. Con estas secuencias, se esperaba que la activación cerebral fluyera en la dirección opuesta. Para que la pronunciación se recuperara, la palabra debía ser encontrada, primero, en el léxico mental. Entonces, la marejada llegaría primero a las áreas léxicas y semánticas, y luego a aquellas que codifican sonidos del habla.

Los resultados conformaron el siguiente panorama. Hasta los 150 milisegundos, la actividad cerebral permanecía confinada a la corteza visual occipital. Alrededor de los 200 milisegundos, se propagaba al área izquierda de la caja de letras. En este punto, no había diferencias detectables entre las tres categorías de estímulos. Inmediatamente después, sin embargo, empezaban a impulsar diferentes reacciones. Las seudopalabras y losseudohomófonos activaban la región temporal superior, en especial el *planum temporale* izquierdo, que alberga una representación de la pronunciación de los sonidos del habla. Las palabras irregulares activaban la región temporal media izquierda, que contiene una "zona de convergencia" semántica, y recién más tarde causaban una ola secundaria de estimulación a las zonas auditivas. Por último, las áreas semánticas nunca fueron activadas con intensidad por las seudopalabras vacías de significado, pero sí se disparaban, aunque tarde, en respuesta a los homófonos como "hed".

Estos resultados de imágenes cerebrales encajan bien con las conclusiones de una gran cantidad de estudios psicológicos de la lectura. ¿Tenemos que pronunciar las palabras mentalmente antes de compren-

³³ "Hed" y "wimen" suenan como "head" y "women", respectivamente, que significan "cabeza" y "mujer". Estos ejemplos son equivalentes, en español, a "hurjir" (que suena como "urgir") y "koche" (que suena como "coche"). [N. de la T.]

derlas? ¿O podemos movernos directamente de una cadena de letras a su significado y saltar la etapa de pronunciación? Ambas cosas pueden ocurrir, pero todo depende del tipo de palabra. Las palabras frecuentes, así como las palabras cuya ortografía es irregular, apuntan directamente a las áreas léxicas del lóbulo temporal medio; en el experimento de Simos, la velocidad con la que esta región se activaba predecía bien el tiempo que les tomó a los participantes mencionar estas palabras. Otros términos, regulares, poco conocidos o desconocidos, primero se pronuncian mentalmente usando las áreas auditivas del lóbulo temporal superior antes de combinarlos con un significado; en el experimento de Simos, la latencia con la cual las áreas auditivas se activaban en primer lugar predecía la velocidad de lectura.

Los límites del cerebro en la diversidad cultural

Ahora que hemos establecido esta imagen esquemática de las dos rutas de lectura del cerebro, podemos volver al punto de cómo logra hacer frente a diferentes formas de escritura. Los diversos sistemas de escritura del mundo tienen grados de transparencia muy diferentes (figura 2.20) (Wydell y Butterworth, 1999). Algunas lenguas, como el italiano, tienen un sistema de escritura transparente, en que las reglas de conversión de la ortografía en sonidos son simples y casi no tienen excepciones: si es posible pronunciar las letras, es posible leer cualquier palabra o seudopalabra en italiano. Otras lenguas son más opacas. En inglés, la misma cadena de letras “ough” se lee de forma diferente en “*tough*” y “*though*”. En este tipo de lenguas, las reglas de conversión no son suficientes. Para leer palabras escritas en voz alta, un lector del inglés debe poseer un vasto léxico si debe recuperar la pronunciación de una palabra. Las reglas de conversión de la ortografía en sonido existen, pero las innumerables excepciones suponen que se requiera constantemente la memoria léxica.

El chino y el japonés ocupan, obviamente, una cumbre de la escala de transparencia ortográfica. En estas lenguas, los lectores deben memorizar miles de caracteres (para la lectura diaria son necesarios aproximadamente siete mil caracteres chinos, pero hasta cuarenta mil se utilizan en la literatura). Cada uno de ellos debe proyectarse en la palabra hablada correspondiente. Estas proyecciones no son enteramente arbitrarias; de hecho, muchos caracteres chinos tienen un marcador fonético cuya escritura es relativamente consistente: una forma permite escribir *ma*, otra *ti*, y así sucesivamente. Más allá de esto, hay

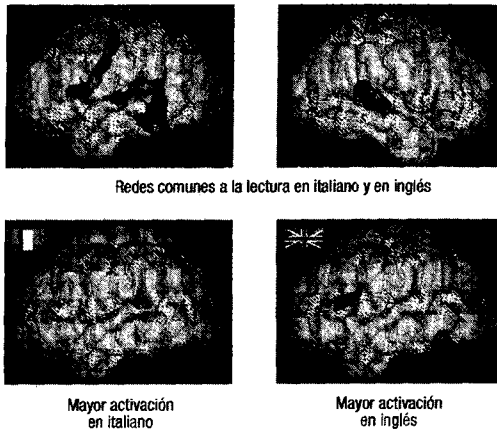
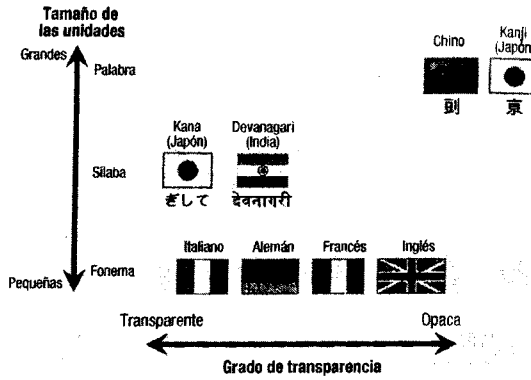


Figura 2.20. La transparencia del sistema de escritura influye en la organización del cerebro del lector. Los sistemas de escritura se diferencian en el tamaño de las unidades que denotan (fonemas, sílabas o palabras completas) y en su grado de transparencia (la regularidad de la relación entre los símbolos y los sonidos del habla). La ortografía del italiano es muy regular, mientras que la del inglés pone los nervios de punta con irregularidades y palabras que son excepciones. Cuando se contrasta la actividad cerebral en italiano y en inglés, se ven pequeñas modulaciones dentro de una red que en general es compartida. El italiano causa activación más fuerte en las áreas auditivas del lóbulo temporal superior, mientras que el inglés pone más énfasis en el área tèmpero-occipital y en la región frontal inferior izquierda (tomado de Paulesu y otros, 2000).

tantos marcadores y tantas excepciones a su pronunciación regular, que el concepto de una “regla” de conversión de la ortografía en sonido se aplica muy poco aquí. La escritura china depende principalmente de asociaciones probabilísticas entre caracteres y sonidos del habla que deben aprenderse de a una por vez porque no existe una regla abstracta que gobierne su estructura.

¿Cuál es el impacto de las variaciones culturales en los circuitos de la lectura en el cerebro? Una vez más, la generalización transcultural parecería ser lo prevalente. Si bien las imágenes cerebrales han revelado unas pocas discrepancias entre los lectores de italiano, de inglés, de chino y de japonés, estas están limitadas a modulaciones locales de los circuitos universales (figura 2.20). Las dos rutas de lectura que se describieron antes existen en todas las culturas y están localizadas en áreas similares del cerebro. La única diferencia consiste en la forma en que cada lengua utiliza las rutas. Los caracteres chinos o el kanji, que representan palabras completas, tienden a provocar mayor activación en las áreas relacionadas con el léxico mental (particularmente la región temporal medial izquierda). Los sistemas de escritura que expresan los sonidos del habla utilizando reglas relativamente simples, como la escritura alfabética, el pinyin chino o el kana japonés tienden a activar las áreas auditivas directamente a través de la ruta de conversión de la ortografía en sonido (especialmente la región temporal superior izquierda y el giro angular) (Chen y otros, 2002; Fu y otros, 2002).

Se pueden encontrar distinciones culturales similares para sistemas de escritura alfabéticos (Paulesu y otros, 2000). El italiano, que es una lengua muy transparente, produce una activación mayor en las áreas auditivas del lóbulo temporal que el inglés, probablemente por la simpleza de sus reglas de conversión de ortografía en sonido. El inglés, cuyo sistema es opaco, lleva a una mayor activación en la región interior frontal izquierda, involucrada con la selección semántica y léxica, y a una actividad algo más alta en la región temporo-occipital izquierda. Estos patrones probablemente pueden atribuirse al hecho de que el procesamiento de la forma visual de la palabra requiere más trabajo en inglés. Mientras un lector italiano puede contentarse con identificar una serie de letras antes de convertirlas en sonido, un lector inglés debe prestar atención al contexto en el cual aparecen las letras si se espera que extraiga grafemas complejos como “ou”, “gh” o “ing” (las únicas unidades que permiten tener cierta regularidad de escritura-sonido).

De alguna manera, las diferencias entre las lenguas son comparables a las existentes en el interior de cada lengua y que separan las palabras

regulares de las irregulares. Cuando un lector nativo de inglés lee una palabra irregular como "colonel" [coronel], su actividad cerebral se parece a la de un lector chino, dado que debe utilizar principalmente una ruta léxico-semántica que analiza esta cadena como un "carácter" conocido con su propia pronunciación. En contraste, cuando lee una cadena nueva pero regular como "Lo-lee-ta" de Nabokov, procede como un lector italiano, es decir, empleando una ruta directa de conversión de la escritura en sonido que atraviesa el lóbulo temporal superior.

En el análisis final, todos estos descubrimientos se inclinan por una universalidad fundamental de los circuitos de lectura. A pesar de la diversidad de sistemas de escritura y reglas de transcripción, las personas en todas partes del mundo por lo general recurren a las mismas áreas cerebrales cuando leen. Los caracteres chinos, las secuencias alfabéticas, las letras del hebreo y el kanji japonés: todos toman rutas corticales de procesamiento muy similares. Es más, cuando entran a la corteza visual, todos los estímulos escritos son conducidos a la región izquierda de la caja de letras, donde se los reconoce sin importar su forma, tamaño y localización exactos. Este paquete de información visual luego se envía por una de dos rutas principales: una que lo convierte en sonido, la otra en significado. Ambas rutas operan simultáneamente y en paralelo y una o la otra toma la delantera, según la regularidad de la palabra.

La lectura y la evolución

Las características sorprendentemente universales de las áreas cerebrales para la lectura nos enfrentan una vez más con el enigma que rodea su evolución. ¿Cómo ha llegado nuestro cerebro a poseer circuitos cerebrales especializados para la lectura? ¿Por qué el reconocimiento visual de las palabras siempre involucra la misma región del cerebro en todos los lectores, en posiciones que están siempre a unos pocos milímetros la una de la otra? ¿Por qué imposible coincidencia esta región está equipada con todos los rasgos necesarios para la lectura eficiente, incluyendo una capacidad de invariabilidad espacial, una habilidad para aprender las formas abstractas de las letras y las conexiones adecuadas con otras áreas del lenguaje? ¿No quieren decir estas propiedades que nuestro cerebro está predispuesto para la lectura? Nada de esto: la lógica irrefutable dicta que esto es imposible. La invención de la lectura es demasiado reciente para que nuestro genoma se haya adaptado a ella. Durante los cientos

de miles de años que vieron el lento surgimiento de nuestras especies, pueden haber evolucionado en nuestros cerebros instrumentos específicos para el lenguaje y la socialización, pero esto no puede aplicarse a la lectura, que se retrotrae solamente a unos pocos miles de años.

Entonces, si es verdad que para la lectura usamos nuestro sistema visual de primates, debemos concentrarnos ahora en la organización de los cerebros de los otros primates. ¿Qué hace un macaco con las áreas cerebrales que ahora nosotros utilizamos para la lectura? ¿Cómo se han cambiado estas áreas para una actividad cultural tan nueva como el reconocimiento de las palabras escritas?

3. El simio lector

La lectura se apoya sobre mecanismos neuronales primitivos de la visión de los primates que se han preservado a lo largo de la evolución. Los estudios realizados en animales muestran que el cerebro del mono alberga una jerarquía de neuronas que responden a fragmentos de escenas visuales. Estas neuronas, en conjunto, incluyen repertorio de formas elementales cuyas combinaciones pueden codificar cualquier objeto visual. Algunas neuronas del mono macaco responden incluso a intersecciones de segmentos, que se parecen a las formas de nuestras letras (por ejemplo, T, Y y L). Estas formas constituyen constantes útiles para reconocer objetos. De acuerdo con la hipótesis del “reciclaje neuronal”, cuando aprendemos a leer, parte de esta jerarquía neuronal se reconvierte para la nueva tarea del reconocimiento de letras y palabras.

El Hombre es tan arrogante que se cree una gran obra que ha necesitado la intervención de un Dios. Más humilde, y yo creo que más cierto, sería considerarlo creado a partir de los animales.

Charles Darwin, anotación en sus cuadernos, 1838

No puedo tragar que el Hombre trace una división tan distinta entre él y un chimpancé como entre un ornitorrinco (platípodo) y un caballo; y me pregunto qué diría de esto un chimpancé.

Charles Darwin, en carta a Huxley, 1863

Nadie defendió los orígenes evolutivos de la competencia cognitiva humana con más fuerza que Charles Darwin. En *El origen del hombre* (1871) y en *La expresión de las emociones en el hombre y en los animales* (1872), recopiló cientos de observaciones que indicaban los orígenes animales del comportamiento humano. Incluso el lenguaje, afirmaba, no escapaba a esta regla: “el hombre tiene tendencia instintiva a hablar, como puede observarse en ese singular balbuceo de los niños”. Darwin fue el primer científico que estableció una comparación sistemática entre el aprendizaje de la lengua y la adquisición del comportamiento del canto en los pájaros.

Incluso en su intento por comprender las facultades intelectuales más altas, las emociones sociales, la conciencia moral, y los inventos culturales que marcan nuestra especie, el mensaje de Darwin fue claro: los chimpancés y otros primates tienen la clave de nuestros orígenes.

Las teorías de Darwin también se aplican a la lectura. Los circuitos neurales que se utilizan para esta actividad sólo se comprenderán completamente si sondeamos circuitos similares utilizados para la visión en otros primates, que en lo fundamental no son diferentes en los humanos. Cien años de experimentos han comenzado a desentrañar los mecanismos neuronales que posibilitan la visión en todos los primates, humanos incluidos. ¿Estos mecanismos también guardan la clave de nuestra habilidad únicamente humana para leer? Nuestros cerebros al-

fabetizados, ¿están dotados de neuronas que se especializan en letras, sílabas y palabras completas? ¿Qué tipo de código neuronal se graba en nuestro cerebro cuando aprendemos a leer?

De monos y hombres

En Chicago, durante la década de 1930, un científico del comportamiento, Heinrich Klüver, y un neurocirujano, Paul Bucy, unieron esfuerzos para explorar las lesiones cerebrales y sus peculiares efectos sobre los cerebros de los monos macacos (Klüver y Bucy, 1937). Luego de una lesión bilateral de los lóbulos temporales, estos primates mostraban un sorprendente conjunto de síntomas, actualmente conocido como síndrome de Klüver-Bucy. Ocurrieron enormes cambios en sus comportamientos visuales, alimenticios, sociales y sexuales. Los animales lesionados se comportaban como si ya no reconocieran a otros simios, objetos, ni alimentos. Usaban la boca para explorar al azar el mundo que los rodeaba, e intentaban comer objetos muy poco apropiados o copular con ellos, una forma de falla de la vista que Klüver y Bucy, tal como el neurólogo alemán Heinrich Lissauer (1890), llamaron “ceguera psíquica”. Los animales no estaban realmente ciegos para la luz, pero ya no reconocían formas simplemente al verlas.

Un par de décadas más tarde, los neurofisiólogos Karl Pribram y Mortimer Mishkin delimitaron las regiones del cerebro responsables del déficit visual del mono (Mishkin y Pribram, 1954). Descubrieron que la “ceguera psíquica” provenía de lesiones que se encontraban en la zona ventral del lóbulo temporal en ambos hemisferios (figura 3.1). Los monos con ese tipo de lesiones ya no pueden diferenciar objetos. Es más, se vuelven incapaces de aprender que un alimento se oculta sistemáticamente bajo un cubo rojo, y no bajo una esfera verde a rayas. Los investigadores notaron que incluso luego de cientos de ensayos de entrenamiento, los monos continuaban eligiendo uno de los dos objetos al azar. Sin embargo notaron además que los animales no estaban ciegos: se desplazaban normalmente y localizaban o agarraban los objetos que estaban a su alrededor con facilidad.

Ya en 1890, Heinrich Lissauer había descripto un fenómeno similar en los humanos. Observó que luego de una apoplejía en la región temporal izquierda, algunos pacientes ya no podían reconocer los objetos con la vista, aunque todavía podían manipularlos correctamente y su agudeza visual era por lo demás normal (Lissauer, 1890; Goodale y

Milner, 1992). Este déficit, que Lissauer llamó “ceguera psíquica” o “agnosia visual”, brindó la primera indicación documentada de que el reconocimiento visual de objetos en los humanos y en los primates depende de rutas cerebrales específicas.

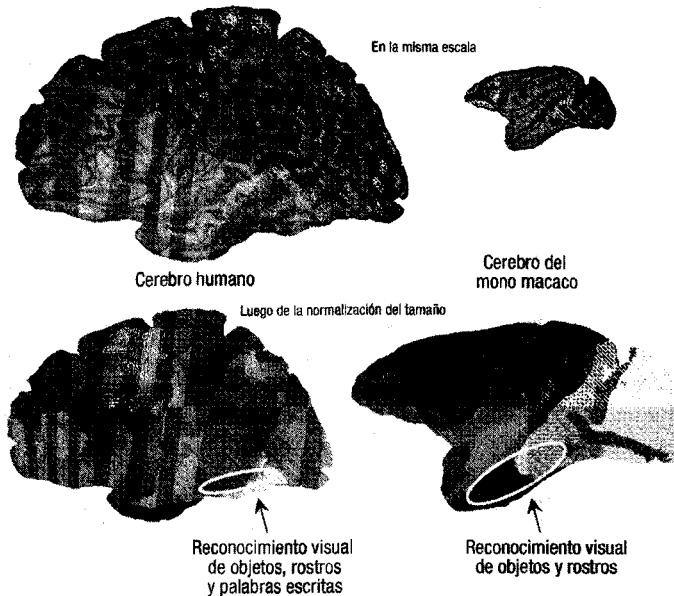


Figura 3.1. La región tampo-occipital que se encuentra asociada a la lectura en los humanos tiene un rol más general en el reconocimiento de objetos y de caras en todos los primates. A pesar de las importantes diferencias en la superficie cortical, muchas similitudes en la microorganización de las capas celulares de la corteza señalan una correspondencia sistemática entre las regiones de los cerebros del mono y del hombre.

En los humanos, las regiones temporales que son responsables del reconocimiento de objetos ocupan el lado más bajo del cerebro. En el mono macaco, tienden a ser más laterales y a extenderse hacia el extremo frontal del lóbulo temporal (figura 3.1). Esta diferencia de formas probablemente puede atribuirse a un aumento de las regiones asociativas de la corteza humana vinculadas con el procesamiento del lenguaje y las redes semánticas, especialmente en los lóbulos temporales anterior y lateral.

La expansión de las regiones asociativas parecería haber llevado el reconocimiento visual hacia el lado más bajo del cerebro, pero pese a todo una clara homología debida a la ascendencia compartida relaciona nuestro cerebro con el de otros primates. En 1910, luego de un examen cuidadoso de la microorganización de la corteza, y específicamente de cómo las neuronas corticales se agrupan minuciosamente en capas, el anatomista Korbinian Brodmann propuso una subdivisión de las áreas corticales humanas, que es todavía hoy ampliamente aceptada. La anatomía muestra que las mismas áreas cerebrales pueden observarse, si bien con algunas diferencias, tanto en macacos como en humanos. En particular, las áreas que Brodmann etiquetó del 20 al 37 están presentes en las dos especies y ambas se ocupan del reconocimiento visual. Y lo que es crucial: el área de la “caja de letras”, que se activa cuando leemos, encaja perfectamente dentro del área 37 de Brodmann. Eso equivale a decir que la lectura no se lleva a cabo a través de un área nueva y única de los humanos. Reconocemos la palabra escrita al utilizar una región que evolucionó con el paso del tiempo y cuya especialidad, a lo largo de los últimos diez millones de años o más, ha sido la identificación visual de objetos. La caja de letras del cerebro se superpone perfectamente con el sitio general en que una lesión induce la “ceguera psíquica” descubierta por Lissauer, Klüver y Bucy.

Neuronas para objetos

Cualquier objeto proyecta una imagen muy diferente en la retina cuando se lo ilumina desde dos ángulos diferentes o cuando se lo presenta a la izquierda o a la derecha de la fijación visual. Esta variabilidad plantea un desafío importante para los circuitos neurales que construyen las categorías con las cuales reconocemos el mundo. Cuando necesitamos identificar un objeto, es irrelevante si está cerca o lejos, a nuestra izquierda o a nuestra derecha, vertical u horizontal, a la luz o a la sombra. Podemos reconocerlo fácilmente sin importar la iluminación, la inclinación, la distancia y la localización. A lo largo de la evolución, el cerebro sin duda estuvo sujeto a presiones selectivas intensas que lo obligaron a llegar a una percepción invariante del mundo. Ahora sabemos que la invariabilidad es una característica esencial del lóbulo temporal inferior. Los monos con lesiones temporales ventrales ya no pueden reconocer objetos invariante. A diferencia de los monos sanos, no pueden generalizar el aprendizaje a nuevas condiciones de luz, tamaño o localización de una

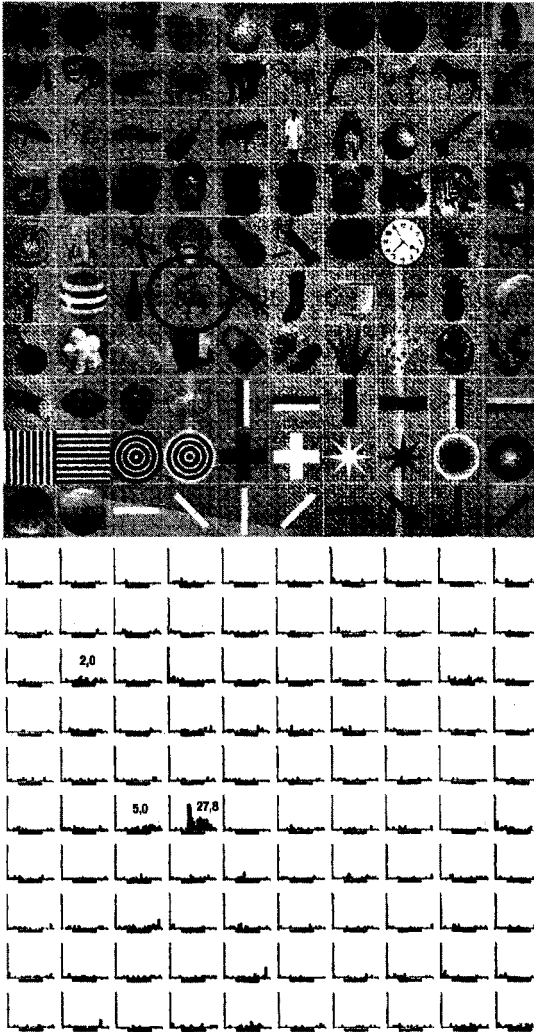


Figura 3.2. Las neuronas de la corteza temporal inferior del mono pueden ser sorprendentemente selectivas a la visión de objetos específicos, rostros o escenas. Entre las cien imágenes que se le presentaron sucesivamente a esta neurona, sólo el ver una silla aumentó con fuerza su excitación (tomado de Tamura y Tanaka, 2001). *Utilizado con el permiso de Oxford University Press y Cerebral Cortex.*

forma aprendida (Humphrey y Weiskrantz, 1969; Weiskrantz y Saunders, 1984). En consecuencia, los experimentos sobre las lesiones cerebrales demuestran que la corteza temporal inferior desempeña un papel clave en la recolección de información visual invariante; y esta es una competencia innata que probablemente esté relacionada con nuestra habilidad para reconocer que “RADIO”, “radio” e incluso “RaDiO” representan la misma palabra.

Recientemente, los registros de neuronas individuales comenzaron a revelar un código neuronal muy refinado para objetos visuales en los monos macacos. Ya en los últimos años de la década de 1960, David Hubel y Torsten Wiesel registraron la actividad neuronal en el área visual primaria del gato, y descubrieron que las neuronas se excitaban en respuesta a simples franjas de luz, lo que allanó el camino para el trabajo que iba a ganar el Premio Nobel en 1982. En la década de 1970 y de 1980, varios neurocientíficos pioneros (Robert Desimone, Charles Gross, David Perrett, Keiji Tanaka) siguieron sus huellas y avanzaron metiendo los electrodos dentro del cerebro del mono macaco (Desimone y Gross, 1979; Schwartz, Desimone, Albright y Gross, 1983; Perrett, Mistlin y Chitty, 1989; Tanaka, 1996; Tamura y Tanaka, 2001; Tanaka, 2003). De ese modo descubrieron que, para provocar una descarga en las neuronas temporales inferiores, debían presentarles a los monos estímulos más complejos que simples líneas. Elaboraron una gran variedad de imágenes, formas, caras y objetos y se los presentaron de forma visual, uno por vez, mientras un electrodo registraba las descargas neuronales.

La selectividad de las descargas de las neuronas los impactó de inmediato. A menudo, una neurona respondía solamente a determinado rostro, o solamente a un objeto en especial entre docenas de otros (figura 3.2). Esta selectividad era todavía más sorprendente porque iba acompañada por una gran capacidad para la constancia frente a importantes cambios en los detalles de la imagen. En la corteza visual primaria, las respuestas neurales están condicionadas por una ventana de entrada muy estrecha en la retina (el “campo receptivo”). Las neuronas que están en la corteza temporal inferior, sin embargo, son completamente diferentes. Sus vastos campos receptivos suelen responder a objetos que aparecen casi en cualquier lugar de la escena visual. En cualquier punto de esta amplia zona de recepción, cada neurona mantiene una preferencia por un objeto específico favorito. Esta tendencia de cada neurona es muy precisa, incluso cuando la imagen se desliza en un arco de varios grados, cuando su tamaño se multiplica o se divide por dos (Sary,

Vogels y Orban, 1993; Ito y otros, 1995), o cuando cambian la luz y las sombras resultantes (Vogels y Biederman, 2002).

¿Qué ocurre cuando los objetos giran? Nuestro sistema visual tiene muchas dificultades con la invariabilidad por rotación. En las etapas más tempranas del reconocimiento visual, las posiciones consecutivas de un rostro que rota no se codifican con las mismas neuronas. Los perfiles derecho, frontal e izquierdo activan áreas corticales vecinas que se superponen parcialmente (figura 3.3) (Tanaka, 2003). Cuando un objeto rota en la retina, la mayoría de las neuronas temporales inferiores solamente responde a un punto de vista específico. Cuando el objeto rota y se aleja del punto de vista preferido, las neuronas toleran aproximadamente 40° de rotación y luego dejan de responder. Unas pocas

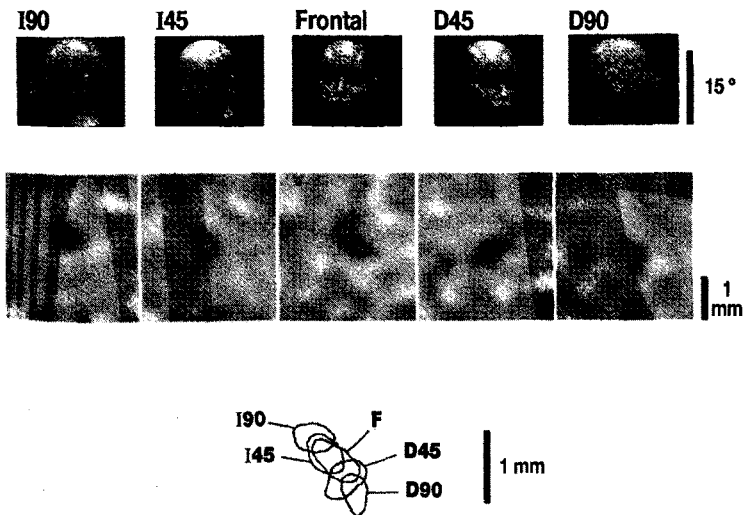


Figura 3.3. Ciertas áreas de la corteza temporal inferior del mono responden a rostros. Cuando se presenta una cara, se activa una columna cortical de aproximadamente 500 micrones de ancho, que puede visualizarse con imágenes ópticas como un punto oscuro en la superficie de la corteza. A medida que la cara gira, los puntos de vista sucesivos activan sectores cercanos que se superponen parcialmente, y contribuyen de este modo a la elaboración de un código neural invariante a la rotación (tomado de Tanaka, Tomonaga y Matsuzawa, 2003). *Utilizado con autorización de Cerebral Cortex.*

neuronas, sin embargo, son más abstractas y reaccionan a un objeto sin importar su posición en el espacio (figura 3.4) (Logothetis, Pauls y Poggio, 1995; Booth y Rolls, 1998). Para explicarlo de forma sencilla, estas neuronas invariantes parecen acumular la información de varias neuronas que son específicas para una perspectiva, que están ajustadas a un ángulo específico. Detectan esencialmente la presencia de un objeto dado uniendo todos los puntos de vista desde los cuales puede verse.

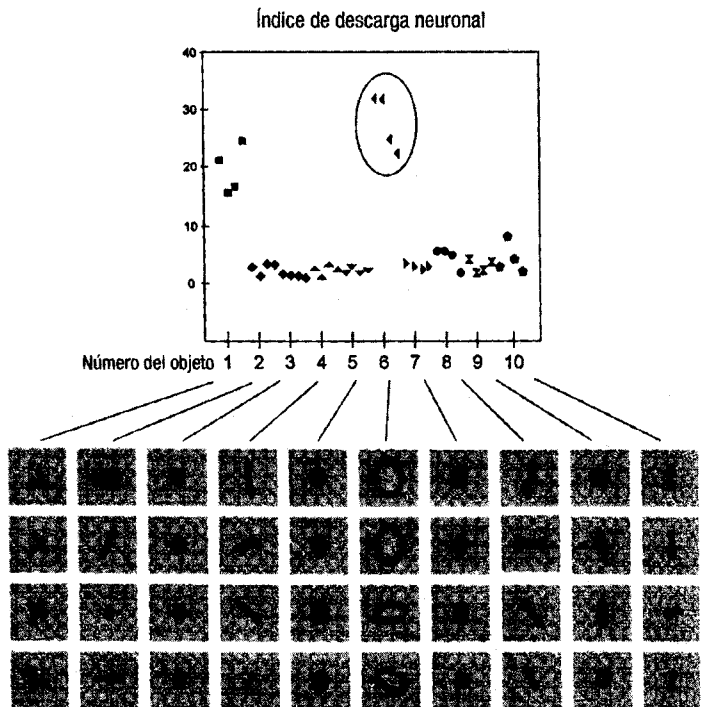


Figura 3.4. Algunas neuronas temporales inferiores responden a las formas de una manera selectiva e invariante. Esta neurona se descarga con vigor cuando se presenta un anillo y, en menor medida, un "trípode" (abajo a la izquierda). La respuesta es, en general, independiente de la orientación del objeto en el espacio (tomado de Booth y Rolls, 1998). *Utilizado con autorización de Cerebral Cortex.*

En resumen, el problema de la invariabilidad visual parece solucionarse mediante una serie de etapas sucesivas de procesamiento que se produce dentro de la corteza temporal inferior. En el nivel más alto de esta jerarquía visual, la actividad en grupos de neuronas permanece constante incluso si un objeto se mueve, retrocede, se da vuelta o proyecta nuevas sombras. Este mecanismo precede en millones de años a la adquisición de la lectura, pero su existencia tiene un papel clave en nuestra habilidad para reconocer palabras en cualquier lugar de la página y en cualquier fuente y tamaño.

Células abuelas

La observación fisiológica de que una sola neurona puede responder a una imagen entre miles es increíble. ¿Nuestra corteza realmente está cubierta de millones de neuronas ultraespecializadas? El psicólogo Horace Barlow alguna vez propuso, en tono de broma, que el cerebro contiene “células abuelas”, o células que responden a tan sólo una persona familiar. Si bien la afirmación de Barlow parecía una broma, en realidad tenía razón, o al menos estaba cerca de la verdad. Los cerebros de los monos, como los de los humanos, contienen neuronas que están tan especializadas que parecen dedicadas a una sola persona, imagen o concepto. Por ejemplo, una vez se registró en la región temporal anterior de un paciente humano con epilepsia una neurona que respondía de forma exclusiva a una superestrella de Hollywood, Jennifer Aniston (Quiroga y otros, 2005). No parecía importar si el estímulo era una fotografía a color, un primer plano de su cara, una caricatura o incluso su nombre escrito, ¡parecía que solamente Jennifer excitaba esta neurona!

El concepto de neurona abuela, sin embargo, debe mitigarse por medio de varias observaciones. Incluso cuando esta selectividad sorprendente se detecta en una neurona individual, debe ser resultado del procesamiento a través de una red tanto mayor. Los experimentos a que hice referencia implicaban la inserción azarosa de un electrodo en el cerebro visual. Si uno puede encontrar de esta forma aleatoria una neurona especializada, sin duda hay millones de otras a la espera de ser descubiertas. Su especificidad, además, resulta necesariamente de la operación colectiva de muchas células. En el análisis final, la respuesta selectiva de sólo una célula es la punta de un iceberg: únicamente podemos verla en virtud de la masa de células subyacente que conspira para crear una estructura de detectores. Por lo que sabemos, una neurona,

por sí misma, tan sólo puede realizar un procesamiento relativamente elemental de información. Además, desde el punto de vista del resultado, una sola neurona no tiene mucha influencia: sólo la coalición de algunos cientos de células puede influenciar otros grupos de células. Por ende, cada evento visual o cada cara que reconocemos debe pasar por la codificación de varios grupos de células selectivas, o lo que se conoce como un esquema de codificación “disperso”.

Reseñar el proceso completo que va desde la retina, donde millones de fotorreceptores sólo reaccionan a manchones de luz, hasta las neuronas que detectan la presencia de Jennifer Aniston es una hazaña alucinante. La organización neuronal detallada del reconocimiento visual está recién comenzando a descubrirse. Anatómicamente, sabemos que la corteza temporal inferior del mono macaco está organizada como una pirámide. La imagen visual entra en la base de la pirámide, y un sinnúmero de conexiones consecutivas la llevan de la corteza visual primaria, situada en la parte posterior de la cabeza, al extremo frontal del polo temporal (figura 3.5) (Rolls, 2000). Esta progresión anatómica está acompañada por un crecimiento de la complejidad de las imágenes que excitan una neurona. En cada etapa, la recombinación de las respuestas de las neuronas del nivel más bajo permite que las nuevas neuronas respondan a porciones cada vez más complejas de la imagen. Nuestro sistema visual tiene interconexiones muy precisas para reconstruir el rompecabezas gigante que crea la retina cuando hace estallar en un millón de píxeles las imágenes que ingresan.

Si pudiéramos escalar la pirámide neuronal paso a paso, sinapsis a sinapsis, y registrar las neuronas que encontraríamos en el camino de la corteza visual primaria al lóbulo temporal inferior, veríamos tres tipos de cambios:

- Primero, las imágenes preferidas que excitan la neurona se volverían cada vez más complejas. Una barra pequeña e inclinada es suficiente para causar una descarga significativa en la corteza visual primaria. Sin embargo, las curvas más complejas, las formas, los fragmentos de objetos, o incluso los objetos completos o los rostros son necesarios para excitar las neuronas de los niveles más altos.
- En segundo lugar, las neuronas comenzarían a responder a porciones cada vez más amplias de la retina. Cada neurona se define en términos de su campo receptivo, o del lugar en la retina al cual responde. El tamaño de los campos receptivos se duplica o se triplica a cada paso.

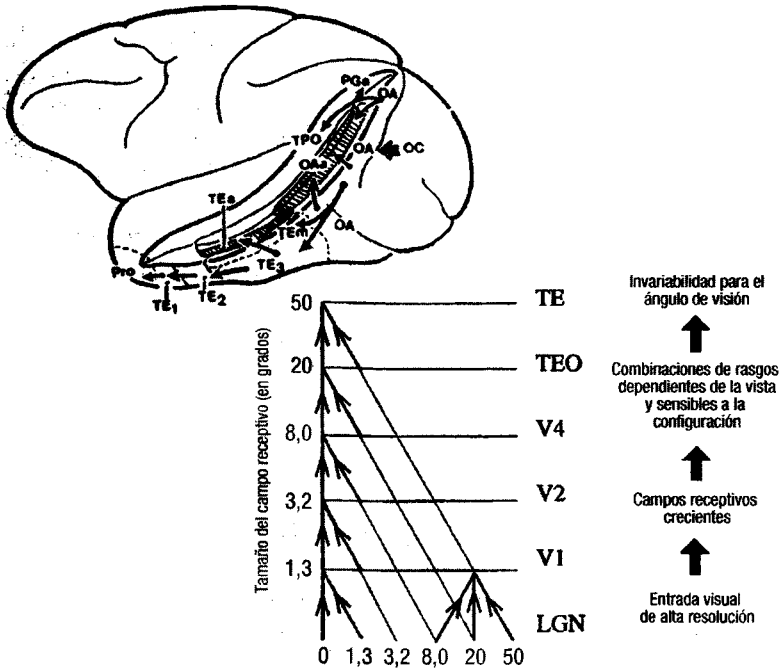


Figura 3.5. Las áreas temporales occipital e inferior están organizadas como una estructura de constancia creciente. Están interconectadas sucesivamente de acuerdo con una "pirámide sináptica". En cada etapa, el tamaño del campo receptivo (la región de la retina a la cual responden las neuronas) se multiplica dos o tres veces. En paralelo, las preferencias visuales de las neuronas se vuelven cada vez más complejas e invariantes (tomado de Rolls, 2000). *Utilizado con permiso de Neuron.*

- Por último, encontraríamos un grado creciente de invariabilidad. Al principio, las neuronas son sensibles a cambios en la localización, en el tamaño, o en la luz de la imagen que llega. En las áreas de nivel más alto, cuando se avanza hacia arriba en la estructura, las neuronas toleran cambios y distorsiones cada vez más significativos de la imagen.

Las imágenes cerebrales funcionales de los voluntarios humanos muestran que la organización jerárquica y la invariabilidad creciente también

son válidas para nuestra corteza visual (Grill-Spector y otros, 1998; Lerner y otros, 2001; Vuilleumier y otros, 2002). En los humanos y en otros primates, el concepto de jerarquía neuronal provee una solución simple aunque todavía hipotética a la cuestión de la invariabilidad visual. Cuando se le pide a nuestra corteza que identifique un objeto, debe aprender cómo luce desde diferentes ángulos. Los mecanismos de aprendizaje asignan un grupo de neuronas a cada perfil del objeto. Luego conectan las ilustraciones para que exciten colectivamente las mismas neuronas en el nivel que le sigue en la pirámide. El resultado neto es un circuito neural invariante que tolera cambios considerables en la posición desde la cual se ve. Esta idea tan simple puede replicarse en cada paso. Las neuronas responsables de reconocer el perfil de Jennifer Aniston reciben información de las neuronas situadas en niveles más bajos, que identifican un fragmento de su cara. Estas neuronas son capaces de reconocer un ojo o una nariz porque el nivel anterior ya detectó los patrones de luz y de oscuridad que son compatibles con la presencia de estos rasgos en determinada localización de la retina.

En síntesis, las claves del sistema visual del primate son las nociones de jerarquía y de funcionamiento en paralelo. La imagen mental que se divide en primer lugar en la retina en un sinnúmero de "píxeles" es recompuesta de forma progresiva por una pirámide de neuronas que operan de manera simultánea. Esta perspectiva puede parecer inicialmente ineficiente, porque se deben dedicar millones de neuronas a cada uno de los posibles fragmentos que componen una única escena visual. La carga que recibe el sistema nervioso, sin embargo, es relativamente modesta, dado que la escena puede distribuirse a lo largo de un conjunto de procesadores paralelos simples. Del mismo modo en que una colonia de hormigas es más "inteligente" que una sola hormiga, la acción colectiva de millones de neuronas logra operaciones mucho más complejas que las que puede lograr una neurona por sí sola. La enorme cantidad de unidades que operan al mismo tiempo, de hecho, conlleva un ahorro considerable en el tiempo de procesamiento. Las neuronas independientes son computadoras lentas. Reciben y transmiten información en aproximadamente diez milisegundos, lo que es un millón de veces más lento que la velocidad de un microprocesador electrónico. En cambio, cuando se combina la actividad de millones de neuronas, nuestro sistema visual se vuelve la computadora más eficiente: sólo lleva un sexto de segundo identificar un rostro, sin importar su identidad o su localización (Thorpe, Fize y Marlot, 1996).

La arquitectura del cerebro inspiró a muchos programadores. Actualmente, se dispone de varios modelos computarizados de la estructura visual que he descrito (Riesenhuber y Poggio, 1999; VanRullen y Thorpe, 2002). En la actualidad, los mejores se acercan al desempeño humano, en cuanto a velocidad y al grado de distorsión que pueden tolerar en la imagen. Gracias a estas redes neuronales artificiales, el reconocimiento automático de las caras ya no debe ser visto como algo que salió de la ciencia ficción. Es parte de la vida real: incluso la cámara digital más simple hoy incluye reconocimiento de rostros y de sonrisas.

Un alfabeto en el cerebro del mono

El modelo de la pirámide sostiene que el código neural para determinado objeto visual consiste en una estructura jerárquica de neuronas: cada una de ellas detecta la presencia de un fragmento de este objeto en la imagen que se presenta. La mayoría de las neuronas sensibles a objetos probablemente reaccione a perspectivas simplificadas y restringidas de los objetos o de sus partes. A partir de esta hipótesis, el neurocientífico japonés Keiji Tanaka hizo un descubrimiento sorprendente: el cerebro del mono contiene un mosaico de neuronas dedicadas a fragmentos de formas. En conjunto, estas formas primitivas constituyen algo así como un “alfabeto neuronal” cuyas combinaciones pueden describir cualquier forma compleja.

Para estudiar el código neuronal para los objetos, Tanaka y sus colegas crearon un procedimiento que comienza con una escena compleja y luego la simplifica (figura 3.6). Buscaron una imagen que excitase con mucha fuerza una neurona, y luego la redujeron a la forma más simple que todavía producía una descarga. Consideremos, por ejemplo, una neurona que respondiera inicialmente al ver un gato. Tanaka descubrió que la neurona se disparaba con el mismo vigor al ver dos discos superpuestos. A otra neurona le gustaba la forma de una manzana, pero de hecho disparaba igualmente bien ante un disco negro con un pequeño tallo. Una tercera neurona, que producía una descarga cuando veía un cubo, también parecía detectar sólo la intersección en forma de Y donde se encontraban sus lados. La mayoría de las neuronas de la corteza temporal inferior se disparaban sin importar la presencia de drásticas simplificaciones de una imagen (Tanaka, 2003).

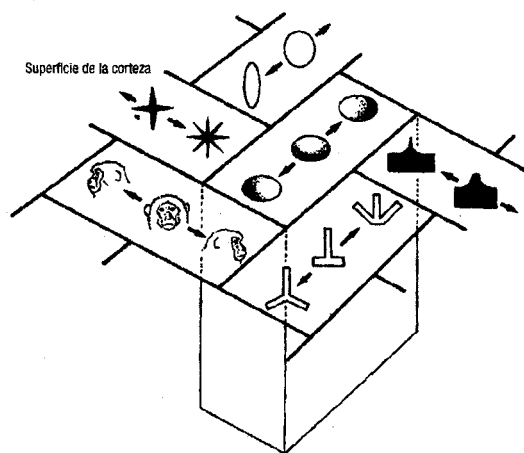
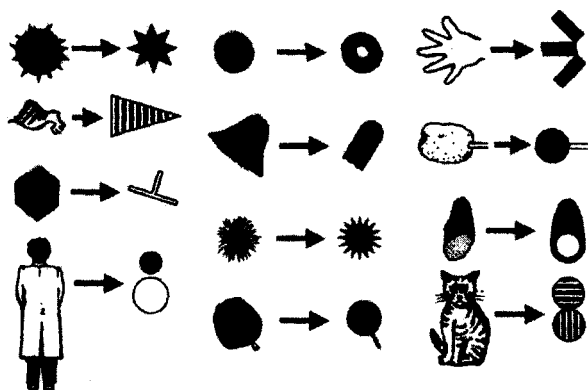


Figura 3.6. La simplificación de las imágenes revela una microtopografía de la corteza temporal. Se comienza con un estímulo que activa con mucha fuerza una neurona, y la imagen se simplifica poco a poco hasta que se encuentra una tanto más simple pero que aún evoca una respuesta de igual fuerza (arriba). Algunas de estas formas mínimas se parecen a las letras (O, T, Y, E, etc.). Las neuronas que responden a ellas están organizadas en columnas verticales que son transversales a la corteza. Cuando una se mueve en una dirección perpendicular a lo largo de la superficie cortical, las formas preferidas varían continuamente, y definen sectores locales de preferencia por una forma (tomado de Tanaka, 2003). *Utilizado con autorización de Cerebral Cortex.*

Luego de cientos de registros, Tanaka pudo reconstruir el mosaico aproximado de las neuronas para objetos en la superficie cortical del mono. Descubrió una distribución sistemática. Las preferencias de las diferentes neuronas variaban tenuemente a lo largo de la corteza, y las neuronas vecinas tenían una tendencia a codificar las mismas formas (figura 3.6). Por ejemplo, había un sector de la corteza que estaba dedicado a las variantes de Y y T. Otros sectores corticales estaban especializados en formas que se parecían a las estrellas, el perfil simplificado de una cara, o la figura del número 8. Se obtuvo así un catálogo cortical entero de las formas elementales. En una determinada localización cortical, todas las neuronas que estaban dentro de una columna vertical de la corteza estaban interesadas en una forma de algún modo similar. Pero cada una también era sensible a desviaciones milimétricas del prototipo básico.

En conjunto, estas neuronas proveen un alfabeto de variaciones de forma que hacen una categorización grosera de una imagen (¿es una cara o no?) y distinguen sus detalles (¿es la cara de Jennifer Aniston? ¿Cuántos años tiene? ¿Está contenta?). Al combinar las respuestas de millones de detectores de este tipo, el cerebro codifica cada una de los miles de millones de imágenes con las que podemos encontrarnos en la naturaleza.

Uno de los antiguos estudiantes de Tanaka, Manabu Tanifuji, continuó con los experimentos que el primero había comenzado y dilucidó cómo las múltiples columnas de neuronas codifican objetos arbitrarios. Utilizó una técnica de registro óptico que le permitió observar una gran porción del código cortical asociado a un objeto visual (Tsunoda y otros, 2001). Siempre que se activa el cerebro, la cantidad de luz que refleja se reduce mediante mecanismos que sólo comprenden parcialmente. Tanifuji utilizó una técnica que mide la actividad neuronal de un área completa del cerebro utilizando una cámara de video sensible que detecta cambios pequeños en el reflejo de la luz en la superficie cortical. Con la ayuda de una poderosa lente prevista de *zoom*, la cámara rastrea las estructuras activas sólo a unas pocas décimas de milímetros: aproximadamente el tamaño de las columnas codificadoras de formas de Tanaka.

En un experimento, Tanifuji le presentó a un mono la foto de un matafuego; la idea era estimular la corteza con objetos para los que la evolución de ninguna manera podría haber tenido injerencia. El mosaico cortical que codificó este objeto apareció inmediatamente en forma de un conjunto disperso de puntos oscuros que representan actividad neural. Esta "impronta cortical" del matafuego apareció cada vez que se pre-

sentaba. Más tarde, Tanifuji le quitó la manija y la manguera. Cuando vio solamente el tanque rojo, se desvanecieron algunos puntos, otros permanecieron tan activos como antes y, acaso lo más sorprendente, otros se encendieron cuando vieron el matafuego “desnudo”. En otras palabras, el ensamblaje se reconfiguró, y se atribuyó un código neural único a cada imagen nueva, pese al hecho de que sólo parte de esta era familiar.

Al registrar las diferentes neuronas en cada uno de los puntos, Tanifuji pudo arrojar algo de luz sobre el código combinatorio subyacente. En cierto punto, ver una manija era suficiente para disparar las neuronas, como lo hacía cualquier forma parecida a una V compuesta de varias puntas, ya fueran los contornos de una mano o las orejas de un gato. En otro punto, las neuronas respondían solamente a la manija, pero una línea recta no funcionaba: la manija tenía que estar curvada como una J. La respuesta de un tercer grupo de neuronas fue todavía más sutil. Reaccionó al tanque del matafuego, del mismo modo en que hubiera reaccionado a cualquier otra forma rectangular y algo estirada, pero toda la actividad cesaba siempre que se agregaban rasgos como la manija o la manguera.

Los experimentos de Tanifuji contribuyen de forma sustancial a clarificar cómo nuestra corteza temporal codifica cualquier imagen visual, incluso la primera vez que se la ve. El truco es sacar provecho a un alfabeto de formas elementales, cada una codificada por poblaciones específicas de neuronas, y sus millones de combinaciones potenciales. No sólo las diferentes neuronas reaccionan a las diferentes partes de un objeto, sino que también están implicadas en cómo las partes se acomodan en el espacio. Es más: existe un código combinatorio similar en cada uno de los varios niveles jerárquicos del sistema visual, sólo que la escala y el grado de complejidad de las formas preferidas aumentan a medida que se escala en la jerarquía. El área visual primaria (V1) parece estar dedicada, en su mayoría, a la detección de las finas líneas y contornos de los objetos. En el área visual secundaria (V2), las neuronas ya son sensibles a combinaciones de líneas con inclinaciones o curvas bien definidas (Ito y Komatsu, 2004). Más adelante, en la parte posterior de la corteza temporal inferior (un área que se llama TEO), reaccionan a simples combinaciones de curvas (Brincat y Connor, 2004). La respuesta selectiva de las neuronas a, digamos, la forma de una F puede reducirse a la detección de una simple conjunción de formas elementales, cada una ubicada en una localización relativamente fija; la barra de arriba, el ángulo de arriba a la izquierda, la barra del medio, y así sucesivamente. En resumen, el mismo esquema parece repetirse en cada nivel jerárquico:

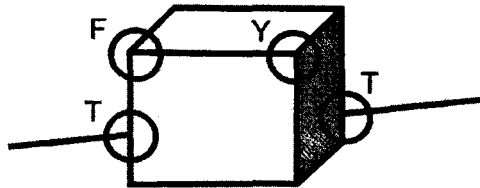
la selectividad neuronal es resultado de una combinación de los rasgos más elementales que las neuronas codifican en niveles más bajos.

Protoletras

Tal vez la característica más sorprendente de las neuronas de la corteza temporal inferior es que muchas de las formas que prefieren se parecen en gran medida a nuestras letras, símbolos, o a los caracteres chinos elementales (figuras 3.4 y 3.6). Algunas neuronas responden a dos círculos superpuestos que forman la figura de un 8, otras reaccionan a la conjunción de dos barras que forman una T, y otras prefieren un asterisco, un círculo, una J, una Y...

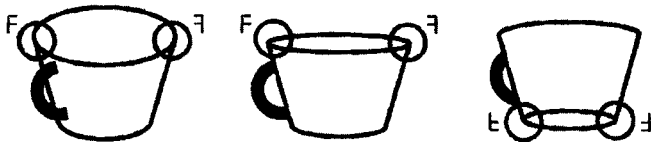
Por esta razón, me gusta llamarlas "protoletras". Es sorprendente que estas formas estén tan profundamente incrustadas en las preferencias de las neuronas en los cerebros de los monos macacos. ¿Qué coincidencia extraordinaria hizo que este repertorio cortical fuera tan similar al alfabeto que heredamos de los hebreos, griegos y romanos? La paradoja de la lectura llega a su cúspide con este misterioso parecido entre dos mundos que pensamos que estaban separados: las profundidades de la corteza del mono y las superficies de arcilla, papiro y pergamino en que los primeros escribas empezaron a grabar sus inscripciones.

Podemos comprender mejor los orígenes de estas protoletras de los monos si investigamos la razón por la que aparecen en el campo visual. La hipótesis más probable es que estas formas se seleccionaron, sea en el curso de la evolución o a lo largo del curso de una vida de aprendizaje visual, precisamente porque constituían un "alfabeto" genérico de formas que son esenciales para decodificar la escena visual. La forma T, por ejemplo, es muy frecuente en las escenas naturales. Cuando un objeto se pone delante de otro, sus contornos casi siempre forman una intersección con forma de T. Las neuronas que actúan como "detectores de T" pueden ayudarnos a darnos cuenta de cuál objeto está delante de cuál otro.



Otras configuraciones características, como las formas de una Y o de una F, aparecen en los lugares donde se encuentran varios lados de un objeto; así, definen las esquinas puntiagudas de un objeto y hacia dónde están orientadas. Las formas J y 8 son resultado de otro conjunto de contornos de objeto: los que se producen cuando el objeto tiene curvas y agujeros. Todos estos fragmentos de formas pertenecen a lo que se conoce como “propiedades no accidentales” de las escenas visuales, porque no es probable que ocurran accidentalmente en ausencia de cualquier objeto. Si tiramos un manojito de fósforos al piso, es poco probable que dos de ellos se encuentren para formar una intersección con la forma de una T, y es todavía menos probable que tres de ellos lleguen a la configuración de la letra Y. Por ende, cuando una de estas formas aparece en la retina, el cerebro puede asumir con seguridad que corresponde al contorno de un objeto presente en el mundo exterior.

Si para la corteza resulta útil codificar las propiedades no accidentales, sin duda es porque sus combinaciones tienden a no variar con los cambios de tamaño, ángulo de visión y luz. Cuando uno levanta una taza de café y la rota en su mano, en un amplio rango de ángulos de visión los lados de la taza siempre forman dos intersecciones opuestas con forma de F. Incluso con un ojo cerrado, es prácticamente imposible encontrar el único ángulo en que los lados y bordes de la taza están en ángulos rectos, de modo que desaparezca la forma F; por lo general, de forma inmediata aparece otro par de F en la parte de abajo:



En muchos casos, la lista de formas en que los bordes se encuentran es una constante que fuerza la identificación del objeto, sin importar el ángulo en que se lo presente. Nuestro sistema nervioso de primates parece haber descubierto esta propiedad invariante y haberla utilizado para codificar formas. De hecho, las escenas visuales tienen muchas otras propiedades no accidentales. El paralelismo es una de ellas: es improbable que una imagen contenga dos segmentos paralelos, a menos que sean los bordes de un objeto tridimensional. Otras constantes tienen que ver con la organización del espacio: si un objeto contiene un agujero, su proyección en la retina probablemente incluirá una curva cerrada con

forma de O. Las constantes visuales como estas son tan distintivas que se han integrado firmemente a nuestro sistema nervioso. De acuerdo con el psicólogo californiano Irving Biederman, nuestra memoria no almacena imágenes visuales totalmente detalladas de los objetos. Simplemente extrae un esbozo de sus propiedades no accidentales y de su organización y relaciones espaciales (Biederman, 1987). Su extracción nos permite, al principio, reconstruir las partes elementales que constituyen la estructura tridimensional del objeto (superficies, conos, palos...), y luego ensamblarlas en una representación completa de la forma del objeto. Este código tiene la ventaja de seguir siendo consistente ante las rotaciones aleatorias, las oclusiones y otros deterioros de la imagen.

Para sostener esta hipótesis, Biederman reunió pruebas del hecho de que la percepción humana de los objetos es sostenida más por las propiedades no accidentales de los objetos que por otros aspectos de la imagen. Por ejemplo, si uno comienza con un dibujo de las líneas de un objeto, y luego borra la mitad de los contornos, el impacto en la percepción depende de si sus propiedades no accidentales están preservadas o no:

- Si uno sólo borra los segmentos de líneas que unen dos vértices, y deja intactas las intersecciones no accidentales, el objeto sigue siendo fácilmente reconocible.
- Si se eliminan todas las propiedades no accidentales, el reconocimiento se vuelve prácticamente imposible (figura 3.7) (Biederman, 1987).

Del mismo modo, cuando tenemos que decidir si dos objetos son idénticos o no, las diferencias son obvias cuando están basadas en propiedades no accidentales (por ejemplo, la letra “O” frente a la figura de un ocho). Son bastante difíciles de identificar si están relacionadas únicamente con propiedades métricas como el tamaño (por ejemplo, una “O” mayúscula frente a una “o” minúscula) (Biederman y Bar, 1999). En colaboración con el neurofisiólogo Rufin Vogels, Biederman demostró además que muchas neuronas que se encuentran en la corteza temporal inferior de la corteza del mono macaco resisten las distorsiones métricas de la imagen, siempre que las transformaciones mantengan intactas las propiedades no accidentales (Vogels y otros, 2001).

En resumen, las formas que se parecen a las formas occidentales, como la T, F, y O, fueron adoptadas por las neuronas temporales inferiores porque formaban colectivamente un código óptimo, que no cambiaba con las transformaciones de imágenes, y cuyas combinaciones

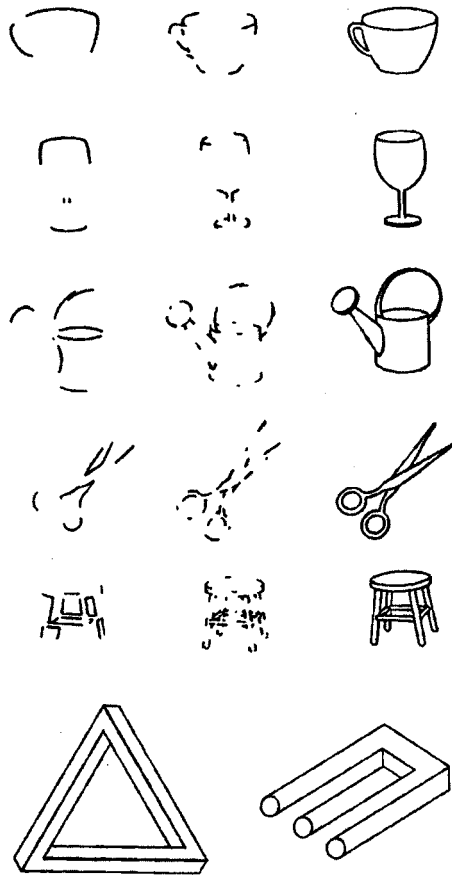


Figura 3.7. Los objetos complejos se reconocen a través de la configuración de sus contornos. En los lugares donde se encuentran, estos contornos forman configuraciones reproducibles que tienen la forma de una T, una L, una Y o una F. Si estas intersecciones se borran, las imágenes se vuelven tanto más difíciles de reconocer (columna de la izquierda), mientras que la eliminación de una cantidad equivalente de contorno que deje intactas las intersecciones causa en verdad menos dificultad (columna del medio) (tomado de Biederman, 1987). Tan pronto como un conjunto de contornos organizado está presente en la imagen, incluso si no forma un todo coherente, nuestro sistema visual no puede evitar percibirlo como un objeto tridimensional (abajo).

permitían representar una infinidad de objetos. Es probable que otras formas fueran agregadas a este alfabeto por su relevancia biológica. Por ejemplo, Tanaka ha observado que algunas neuronas codifican un punto negro en un fondo blanco: un detector de ojos, claramente un recurso esencial en especies sociales como la nuestra. Otras neuronas son sensibles a las formas de manos o dedos. En primer lugar, sin embargo, la corteza temporal inferior depende de un conjunto de formas geométricas y de constantes matemáticas simples. No inventamos la mayoría de las formas de nuestras letras: estuvieron latentes en nuestros cerebros por millones de años, y simplemente fueron redescubiertas cuando nuestras especies inventaron la escritura y el alfabeto.

La adquisición de la forma

Lo que no queda claro es si el alfabeto cortical de las protoletras primitivas está inscripto verdaderamente en nuestros genes o si surge de nuevo en cada niño como resultado de un proceso de aprendizaje. Algunas de las formas del alfabeto son tan útiles para la vista que es probable que se hayan preconectado en nuestro sistema visual durante el transcurso de la evolución. En los primeros pocos meses de vida, los bebés ya son sensibles a las caras y a la oclusión de objetos. Es decir que las caras, los ojos y las intersecciones con forma de T probablemente sean parte del repertorio “innato” de formas. Desde un punto de vista evolucionista, esto les daría a los primates una ventaja enorme en sus interacciones tempranas con otros miembros de la especie y con el entorno natural.

Es difícil ver, sin embargo, de qué forma el genoma humano, con a lo sumo 30 000 genes, podría incluir instrucciones lo suficientemente detalladas para conectar los detectores neurales correspondientes a todo aquello que va desde un gran número de formas básicas hasta los perfiles de las caras... ¡o los matafuegos! Es más, la tan conocida plasticidad neuronal de la corteza temporal inferior lo vuelve improbable. Incluso si admitimos un sesgo genético inicial, parece improbable que la mayoría de las neuronas que están involucradas en el reconocimiento de los objetos se vuelvan selectivas por la interacción con un ambiente visual estructurado. Constantemente nos bombardean millones de imágenes que aportan información primaria para el algoritmo estadístico de aprendizaje de nuestro cerebro. En el curso del desarrollo, y probablemente a lo largo de la vida, los contactos sinápticos en nuestro sistema visual cambian todo el tiempo para codificar los fragmentos de

imágenes más relevantes para nosotros. Con seguridad no es una coincidencia que comencemos a enseñarle a leer a un niño a una edad muy temprana, cuando la plasticidad neuronal está en su máximo esplendor. Al sumergir a los niños en un ambiente artificial de letras y palabras, probablemente reorientemos muchas de las neuronas temporales inferiores para la codificación óptima de la escritura.

Muchos experimentos han demostrado que las neuronas de un mono se ajustan poco a poco a los objetos que le enseñamos a diferenciar, incluso cuando los objetos que se utilizan para entrenarlo son cables sin significado o fractales, muy diferentes de cualquier forma que el animal pueda encontrar en su ambiente natural (Miyasita, 1988; Logothetis, Pauls y Poggio, 1995). Las neuronas parecen adquirir preferencias aprendiendo a detectar las conjunciones notables de rasgos destacados. Un experimento reciente que realizaron Chris Baker, Marlene Behrmann y Carl Olson ilustra muy bien este punto (Baker, Behrmann y Olson, 2002). Estos investigadores les enseñaron a algunos monos a reconocer palos con formas características en sus dos extremos; por ejemplo, un cuadrado en una punta y un tridente en la otra. Luego del entrenamiento, muchas neuronas se habían vuelto sensibles a sus combinaciones específicas. Cuando se les mostraba solamente una punta del objeto, respondían débilmente. En resumen, la descarga neuronal para la imagen completa era mayor que la suma de las respuestas individuales a cada parte. Esta es una prueba directa de que las neuronas aprenden a responder a nuevas combinaciones visuales. Dentro del inmenso catálogo de formas posibles, algunas neuronas aprenden a dispararse exclusivamente como respuesta a combinaciones que aparecen con frecuencia. Otras conjunciones existen en nuestro inventario neural, pero sólo en potencia. Hasta que se le enseñan al mono, las neuronas de nivel más alto no las codifican explícitamente.

· El instinto de aprendizaje

Tan a menudo se ha demostrado la plasticidad cerebral que a veces se la considera una propiedad evidente de la corteza. En realidad, la capacidad de aprender es resultado de un proceso evolutivo sofisticado. En muchos casos, el aprendizaje no es deseable: un bebé que debiese aprender a respirar o a alimentarse no sobreviviría mucho tiempo. Sin embargo, nacemos en un mundo complejo que no puede predecirse completamente por adelantado, y por eso nuestro cerebro no puede

estar del todo preconectado. En este tipo de casos, a la evolución se le ocurrió un truco que resultaría muy útil: el aprendizaje. En algunos circuitos del cerebro y en algunos puntos durante el desarrollo, parte del sistema nervioso se adapta a las restricciones externas. Por supuesto, el mecanismo del aprendizaje en sí mismo es innato, regido en última instancia por mecanismos genéticos sofisticados. Por ende, no hay contradicción posible cuando uno habla de los mecanismos rígidos de aprendizaje, o incluso del “instinto de aprendizaje”, citando a Peter Marler (Gould y Marler, 1987). El añejo antagonismo entre naturaleza y educación es un mito: todo el aprendizaje depende de una rígida maquinaria innata.

El ejemplo más claro de los límites de la plasticidad cerebral lo aporta la visión binocular, es decir, la combinación de la información que llega de los dos ojos. Un acotado período ventana de plasticidad, que dura unas pocas semanas en los gatos, unos pocos meses en los primates no humanos y unos pocos años en los humanos, permite el refinado ajuste de las conexiones del área visual primaria. Esta plasticidad se utiliza para alinear los dos mapas visuales: las neuronas aprenden a relacionar la información que llega de los dos ojos. Al final de este período crítico el circuito se congela. Los niños que entornan los ojos durante el período crítico sufren de déficits visuales de por vida: pierden la habilidad de percibir la profundidad explotando la pequeña falta de correspondencia que existe entre las dos imágenes (estereovisión). En esta etapa, la naturaleza deja sólo una pequeña ventana de tiempo para aprender.

La plasticidad de la corteza temporal inferior que nos permite aprender a reconocer los nuevos objetos no es esencialmente distinta. En todos los niveles de nuestro sistema visual, nuestra corteza está programada para buscar las correlaciones que ocurren en un conjunto preciso de células nerviosas. Ver un matafuego, por ejemplo, activa muchos grupos de neuronas que codifican el cuerpo, la manija, la manguera, el típico color rojo, y probablemente un número de otros primitivos de forma. Esta configuración reproducible de neuronas activas luego se almacena y se estabiliza gracias a un crecimiento en la fuerza de las sinapsis que las une en un conjunto estable. Cada uno de estos primitivos debe, a su vez, haberse aprendido previamente como una conjunción de rasgos más elementales en el nivel más bajo. Es decir que nuestra habilidad para reconocer objetos depende, en última instancia, de un esquema piramidal de neuronas y de un esquema de aprendizaje jerárquico.

En la parte más alta de la pirámide jerárquica surge un nuevo problema. En este nivel, algunas neuronas responden a varias perspectivas de un mismo objeto, por ejemplo, el perfil y la vista frontal de una cara, o incluso el nombre de una persona (Jennifer Aniston). No está claro cómo se adquiere un tipo de constancia tan sutil. El aprendizaje a partir de las coincidencias ya no funciona. No podemos simplemente unir las neuronas que se activan en un momento determinado, porque nunca vemos la cara completa y el perfil de la misma persona al mismo tiempo (excepto en un Picasso).

En el ambiente natural, las muchas perspectivas posibles del mismo objeto con frecuencia se ven en una sucesión. ¿Cómo es que una única neurona aprende que todas estas perspectivas forman parte del mismo objeto? Yasushi Miyashita, de la Universidad de Tokio, descubrió un posible mecanismo neuronal que daría cuenta de este aprendizaje temporal. Demostró que algunas neuronas de la corteza temporal inferior son sensibles a las correlaciones a lo largo del tiempo (Miyashita, 1988; Logothetis, Pauls y Poggio, 1995). Cuando un mono ve formas fractales no relacionadas muchas veces, un grupo distinto de neuronas codifica cada una de ellas. Sin embargo, si estas formas están conectadas temporalmente —ya sea porque siempre ocurren juntas dentro de la misma secuencia temporal o porque son presentadas en pares—, la corteza las asigna a las mismas neuronas. Esto significa que una neurona termina respondiendo a dos imágenes completamente diferentes, cuya única propiedad compartida es que ocurren en una estrecha sucesión temporal (figura 3.8). En resumen, la corteza temporal inferior parecería haber sido nombrada muy apropiadamente, dado que detecta las conjunciones temporales en imágenes arbitrarias y las asigna a las mismas neuronas.

Este mecanismo de aprendizaje puede generar representaciones visuales muy abstractas e invariantes. Siempre que vemos a Jennifer Aniston, sin importar si estamos cerca o lejos, si la vemos de frente o de perfil, nuestras neuronas temporales logran sostener una representación estable de ella, incluso si las perspectivas cambian constantemente. El mecanismo de correlación temporal bien puede tener un rol esencial en la lectura. Por ejemplo, permitirá no tener problemas para descubrir la asociación de las letras en minúscula y en mayúscula, como “a” y “A”. En un nivel tanto más alto, también detectará la correlación entre las letras y los sonidos del habla y contribuir, de ese modo, a establecer una ruta eficiente de conversión de grafemas en fonemas.

Reciclaje neuronal

Ser guapo es un don de la Fortuna, pero escribir
y leer viene por naturaleza.

William Shakespeare, *Mucho ruido y pocas nueces*

A partir de lo que acabo de decir parecería que, cuando nacemos, nuestra visión de primates no está preconectada ni tampoco desprovista de estructura y librada a la misericordia del mundo exterior. La arquitectura general del sistema visual está fuertemente constreñida y es idéntica en todos nosotros, pero el detalle de cómo responde cada neurona depende de eventos visuales particulares a los que nos exponemos. Las sofisticadas técnicas de aprendizaje estadístico detectan las regularidades del mundo exterior. Nuestro cerebro está construido de modo que las propiedades no accidentales, como la cuasialineación de varias barras en la retina, la presencia de intersecciones con forma de T o de L o una sucesión repetida de dos imágenes, se extraen rápidamente y se almacenan en nuestras conexiones corticales.

Nuestro “instinto de aprendizaje” tiene un papel crucial en nuestra capacidad de aprender a leer. La plasticidad sináptica, que es muy grande en los niños, pero también existe en los adultos, le permite a nuestra corteza visual de primates adaptarse, en parte, a los peculiares problemas planteados por el reconocimiento de letras y palabras. Nuestro sistema visual ha heredado de su evolución la plasticidad suficiente para que nuestro cerebro se convierta en un cerebro de lectores.

Cuando un preescolar entra a la escuela por primera vez, su cerebro ya está preaclimatado al reconocimiento de letras y palabras. Como cualquier otro primate, su corteza temporal ventral contiene un predecador del alfabeto. El reconocimiento de objetos ya opera con un principio combinatorio, basado en un alfabeto neuronal de formas elementales que he llamado “protoletras”, algunas de las cuales son muy similares a nuestras letras.

Mi propuesta radical consiste en que es sólo porque existe esta preadaptación de la corteza temporal inferior de los primates que podemos aprender a leer. No seríamos capaces de leer si nuestro sistema visual no implementara de forma espontánea operaciones afines a las que son indispensables para el reconocimiento de palabras, y si no estuviera dotado de la pequeña dosis de plasticidad que le permite aprender nuevas formas. Durante la escolarización, una parte de este sistema establece nuevas conexiones para transformarse en un dispositivo razo-

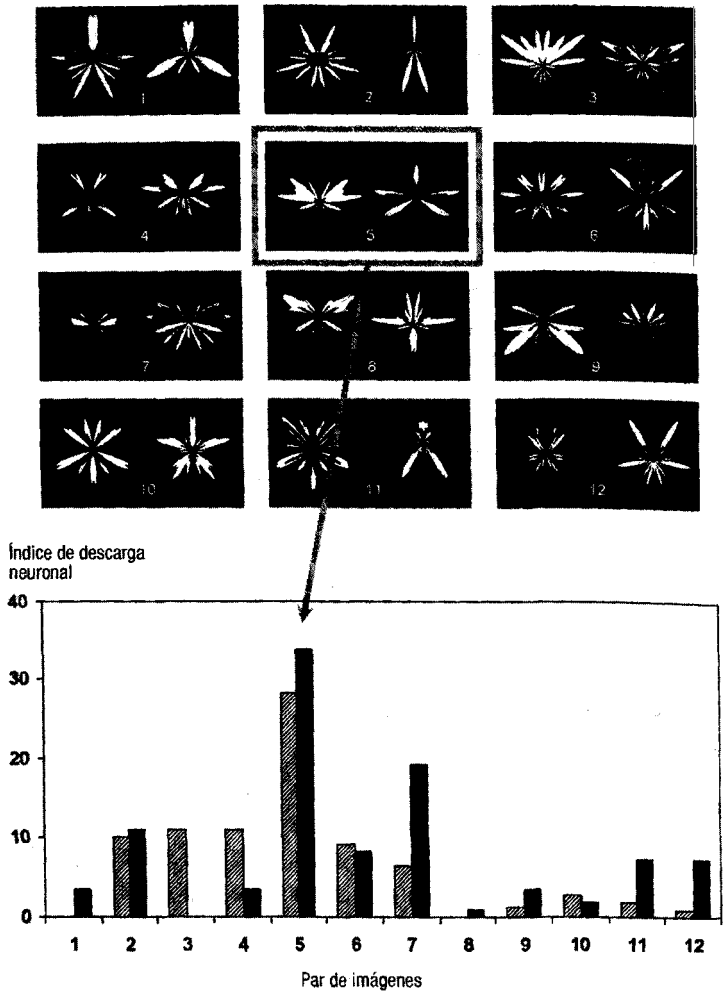


Figura 3.8. Las neuronas temporales inferiores pueden aprender a responder a formas arbitrarias como estas imágenes fractales. Sakai y Miyashita (1991) entrenaron a monos macacos para que asociaran estas imágenes en pares. Luego del aprendizaje, las neuronas individuales comenzaron a responder igualmente bien a los dos miembros de cada par, un tipo de asociación convencional que recuerda el arbitrario vínculo cultural entre letras mayúsculas y minúsculas.

nablemente bueno para el reconocimiento invariante de las letras y las palabras.

De acuerdo con esta perspectiva, nuestro cerebro no es una pizarra en blanco o una tableta de cera que registra de forma fidedigna cualquier invento cultural, por arbitrario que sea. Tampoco es un órgano inflexible que a lo largo de la evolución, de algún modo, ha dedicado un “módulo” a la lectura. Una mejor metáfora sería asemejar nuestra corteza visual a un juego de Lego, con el que un niño puede construir el modelo estándar que aparece en la caja, pero también jugar con una variedad de inventos distintos.

Mi hipótesis está en desacuerdo con el enfoque de la “no existencia de restricciones” tan común en las ciencias sociales, según el cual el cerebro humano es capaz de absorber cualquier forma de la cultura. La verdad es que la naturaleza y la cultura tienen relaciones tanto más intrincadas. Nuestro genoma, producto de millones de años de historia de evolución, especifica una arquitectura cerebral restringida, aunque parcialmente modificable, que impone límites severos a lo que podemos aprender. Los nuevos inventos culturales sólo pueden adquirirse en tanto se ajusten a las propiedades de nuestra arquitectura cerebral. Los artefactos culturales pueden desviarse considerablemente del mundo natural en el que hemos evolucionado: nada del mundo salvaje se parece siquiera remotamente a una página de libro. Sin embargo, cada uno de ellos debe encontrar su “nicho ecológico” en el cerebro, o un circuito neuronal cuya función inicial sea lo bastante afín y cuya flexibilidad sea suficiente para convertirse a este nuevo propósito.

Esto hace pensar en un concepto darwiniano clásico, definido como “exaptación” por Stephen Jay Gould (Gould y Vrba, 1982). La exaptación se refiere a la conversión, durante el transcurso de la evolución, de un antiguo mecanismo biológico a un papel diferente de aquel para el que evolucionó en primer lugar. Un ejemplo excelente son los pequeños huesos que están en la profundidad del oído y parecen tan bien diseñados para amplificar los sonidos que llegan: la evolución darwiniana los esculpió a partir de los huesos de la mandíbula de los antiguos reptiles. En un artículo muy citado, François Jacob imaginó la evolución como un hojalatero que tiene un montón de trastos viejos en el jardín y ocasionalmente une algunos de ellos para crear un nuevo aparato (Jacob, 1977). En mi hipótesis, los inventos culturales surgen, del mismo modo, de la recombinación de antiguos circuitos neuronales en nuevos objetos culturales, seleccionados porque son útiles para los humanos y lo suficientemente estables para proliferar de un cerebro a otro.

En el caso del aprendizaje cultural, la construcción de artefactos a partir de trastos ocurre más rápido que en el ritmo lento de la evolución biológica. La invención de una nueva herramienta cultural puede tomar sólo unas pocas semanas o meses (incluso si hacen falta varias generaciones para que se extienda a una población amplia). Es más, la creación de los objetos culturales depende de mecanismos de aprendizaje neuronal que no requieren ningún cambio en el genoma. Es por estas diferencias fundamentales entre la evolución cultural y la evolución biológica que me gustaría presentar una nueva designación, “reciclaje neuronal”, para hablar de los cambios culturales que ocurren en nuestros cerebros (Dehaenc, 2005; Dehaene y Cohen, 2007).

Por reciclaje neuronal entiendo la invasión parcial o total de una invención cultural sobre un territorio cortical que en primer lugar estaba consagrado a una función distinta. La palabra “reciclaje” pretende hacer referencia a cambios de corto plazo que ocurren en apenas unos pocos meses. El diccionario Merriam-Webster define esta palabra como “atravesar varias veces una serie de cambios” y “adaptar a un nuevo uso”. En francés, que es mi lengua materna, el verbo *se recycler* se aplica a estudiantes o empleados que hacen un curso de actualización o se entrenan para un nuevo trabajo que se adapta mejor al mercado laboral.³⁴ El reciclaje neuronal también es una forma de reorientación o reentrenamiento: transforma una función antigua —una que evolucionó para un ámbito específico de nuestro pasado evolutivo— en una nueva función más útil dentro del contexto cultural actual.

La palabra “reciclaje” también deja en claro que el tejido neuronal, base del aprendizaje cultural, no es una tábula rasa, sino que tiene propiedades que limitan su rango de aplicaciones. El vidrio o el papel reciclados no pueden convertirse en cualquier objeto. Estos materiales tienen propiedades físicas intrínsecas que los vuelven más aptos para determinados usos que para otros. De modo similar, cada región o cada red cortical, por su conectividad, sus sesgos genéticos y sus reglas de aprendizaje, poseen propiedades intrínsecas que son sólo parcialmente modificables durante el proceso de adquisición cultural. Si mi hipótesis del reciclaje neuronal es correcta, el aprendizaje cultural nunca deshace por completo estos sesgos preexistentes: simplemente los elude. Como resultado, no podemos esperar que los objetos culturales sean infinita-

34 Es la misma definición que figura en el diccionario de la lengua española.
[N. de la T.]

mente dóciles y adaptables. El rango de variabilidad cultural humana está acotado por las restricciones propias de nuestras redes neuronales.

El nacimiento de una cultura

Especulo que el reciclaje neuronal tiene un papel esencial en la estabilización de lo que llamamos “cultura”, es decir, el conjunto de representaciones mentales compartidas que definen a un grupo dado de seres humanos. De acuerdo con el biólogo evolucionista Richard Dawkins, del mismo modo en que la reproducción replica los genes, las sociedades humanas propagan “memes”: unidades elementales de la cultura, en un espectro que va desde una receta de *lemon pie* hasta componentes en verdad fundamentales, tales como la escritura o la religión (Dawkins, 1989). Susan Blackmore, quien se ha convertido en una gran defensora de esta idea, habla del cerebro humano como una “máquina de memes”, idealmente adecuada para copiar las representaciones culturales de una persona a otra (Blackmore, 1999). Sin embargo, como señaló el antropólogo francés Dan Sperber, este modelo “memético” como teoría de la propagación cultural, es simplista y en esencia lamarckiano (Sperber, 1996; Sperber y Hirschfeld, 2004). Reduce a los niños a fieles “copiones” que imitan a sus pares y a su familia. Es necesaria una imitación exacta para asegurar la replicación confiable de los memes y de su estabilidad cultural en una escala de décadas o de siglos. Sin embargo, este concepto de imitación pasiva no resiste un escrutinio cuidadoso. A diferencia de una tábula rasa o de una fotocopidora, el cerebro no hace tan sólo copias de su entorno. Más bien, nuestras estructuras cerebrales están estrechamente constreñidas y apenas un pequeño elemento de plasticidad les permite adaptarse a las representaciones culturales que nos rodean.

En esencia, el cerebro que aprende actúa como un filtro que selecciona y restringe las representaciones culturales que se propagarán. El cerebro del niño está en perfecta armonía con algunas características del entorno, pero puede ser enormemente resistente a otras. Por ejemplo, los niños, a menos que sean autistas, no se vuelven de modo espontáneo calculadoras calendáricas que pueden recitar los días de la semana correspondientes a cada fecha, aunque nuestra cultura, a diferencia de muchas otras, está obsesionada con los tiempos exactos. Todos los niños, sin embargo, en los primeros meses de la vida, aprenden rápidamente a reconocer rostros, voces, la lengua materna y a tener un sentido de empatía por los demás; de hecho, estas competencias pueden

adquirirse incluso bajo condiciones de riguroso aislamiento sensorial. La hipótesis del reciclaje neuronal nos lleva de manera bastante lógica a postular la existencia de “atractores culturales”, focos universales de competencia que, compartidos por todos los humanos, explican la estabilidad de los rasgos más importantes de las culturas humanas y evitan la deriva que ocurriría de forma ineludible si los niños sólo estuvieran intentando imitar a sus pares.

En la especie humana, la selección cultural se amplifica además por su carácter intencional. Como recalcó el primatólogo David Premack, el *Homo sapiens* es el único primate con un sentido de pedagogía. Sólo los humanos prestan atención al conocimiento y los estados mentales de los otros con el objeto de enseñarles. No sólo transmitimos activamente los bienes culturales que consideramos más útiles, sino que, como es especialmente evidente con la escritura, los perfeccionamos intencionalmente. Hace más de cinco mil años, los primeros escribas hallaron un potencial extraordinario que estaba profundamente arraigado en nuestros circuitos cerebrales: la posibilidad de transmitir el lenguaje a través de la vista. Generaciones de escribas perfeccionaron luego esta idea inicial. Una larga cadena de tradición en la enseñanza nos conecta con estos primeros escritores que trabajaron con diligencia, de una a otra generación, para hacer que su invento fuera más fácil de asimilar para nuestro sistema visual de primates.

En el análisis final, de acuerdo con Dan Sperber, la reproducción de un invento cultural es más similar a una epidemia que a un proceso de imitación. Un amplio rango de representaciones culturales interpela constantemente nuestra atención, del mismo modo en que los virus desafían sin cesar nuestro sistema inmunológico. Sólo algunos de estos objetos culturales se vuelven endémicos, porque encuentran una resonancia en nuestros cerebros, de forma semejante a un virus que encuentra una fisura en nuestro sistema de defensas. Siempre que esto ocurre, transmitimos de forma activa e intencional estos inventos culturales a otros, a una velocidad que se hace posible por la instrucción eficiente. En última instancia, las representaciones culturales estables que definen el núcleo de un grupo humano son, entonces, aquellas que se pueden incorporar con rapidez a la arquitectura del cerebro humano, porque encuentran eco en circuitos preexistentes capaces de llevar a cabo un reciclaje neuronal eficiente.

Cuando un nuevo invento cultural encuentra su nicho neuronal, puede multiplicarse con rapidez e invadir un grupo humano completo. Luego sigue un nuevo período de estabilidad cultural, hasta que otro

invento llegue a la escena para quebrar el equilibrio. En pocas palabras, ésta es la forma en que las culturas aparecen, proliferan y en última instancia desaparecen.

Como vamos a ver más adelante, la metáfora de una “epidemia cultural” se ajusta particularmente bien a la escritura, cuyas primeras fuentes de infección se encontraron en la zona de la Media Luna Fértil (en la antigua Sumeria), China y Sudamérica, y períodos selectivos de proliferación alternaron con largos períodos de inmovilidad. Si la lectura ha tomado posesión de nuestras mentes, a un extremo tal que ahora constituye un rasgo esencial de nuestra cultura, es porque ha encontrado su nicho cerebral natural en la corteza t́emporo-occipital y sus conexiones. La habilidad de esta regi3n cortical para reconocer palabras y transmitir su identidad a otras ́reas es el resultado de un proceso evolucionario de dos pasos:

- El lento surgimiento de mecanismos eficientes de reconocimiento invariante de objetos que aparecieron en el curso de la evoluci3n de los mamíferos.
- La ŕpida adaptaci3n cultural de los sistemas de escritura para ajustarse a este nicho cortical, en el curso de la evoluci3n cultural a lo largo de los ́ltimos cinco mil ańos.

Esta perspectiva sostiene que el ́rea de la caja de letras del cerebro evolucion3 inicialmente para reconocer las imágenes naturales, no las formas de las letras o de las palabras. Sin embargo, la evoluci3n la dot3 de una capacidad para aprender y, por eso, para transformarse en un dispositivo de lectura. Nuestros sistemas de escritura han descubierto y explotado progresivamente las formas elementales que esta regi3n es capaz de representar.

En resumen, nuestra corteza no evolucion3 específicamente para la lectura: no hubo tiempo ni presi3n evolutiva suficientes para que esto ocurriera. Al contrario, la escritura evolucion3 para ajustarse a la corteza. Nuestros sistemas de escritura cambiaron obedeciendo la restricci3n de que hasta para un cerebro de primates fuere f́cil de adquirir.

Neuronas para la lectura

Si aceptamos que las redes neuronales que estaban destinadas en un principio al reconocimiento visual de objetos se adaptan a la adquisici3n de

la lectura, todavía tenemos que llegar a una descripción convincente de cómo las neuronas del área de la caja de letras reconocen las palabras escritas en menos de un quinto de segundo. ¿Qué tipo de código neural está inscripto en la corteza de un lector experto? ¿Cada letra, sílaba y palabra tiene asignadas sus propias neuronas? ¿Cómo están distribuidas estas neuronas en la superficie cortical?

Aún debe trazarse un mapa detallado de las neuronas del lector. Las técnicas de imágenes para el cerebro humano todavía no pueden, hoy, visualizar las neuronas individuales. Sin embargo, nuestro vasto conocimiento de los cerebros de otros primates nos permite especular acerca de la naturaleza del código neural para la lectura. A pesar de que los modelos teóricos muchas veces subestiman en gran medida la verdadera complejidad del sistema nervioso, pueden aportar un marco para nuevo trabajo experimental y llevar a la invención de nuevos estudios de imágenes. Con esta idea en mente, mis colegas y yo hemos propuesto un modelo tentativo de la arquitectura neuronal de la lectura (figura 3.9).³⁵

Nuestro modelo toma como punto de partida el hecho bien conocido de que el sistema visual ventral está organizado como una jerarquía que va del polo occipital en la parte posterior del cerebro a las regiones anteriores del lóbulo temporal. Como expliqué anteriormente, cuando uno se mueve de un nivel jerárquico al siguiente, el tamaño del campo receptivo de las neuronas aumenta por un factor de dos o tres, lo que significa que responden a porciones cada vez más grandes de la retina. En paralelo, la complejidad de los rasgos que hacen que las neuronas disparen también aumenta, como lo hace la invariabilidad de tamaño, localización e iluminación.

Ahora debemos imaginarnos cómo esta arquitectura neuronal podría alterarse si fuese bombardeada con palabras escritas y tuviese que extraer las regularidades más importantes del flujo visual entrante. En el nivel de la información que ingresa al sistema, en la primera área cortical visual (V1), las neuronas son relativamente simples: solamente reconocen líneas en un estrecho campo de la retina. Tal como descubrieron Hubel y Wiesel, cada neurona, dentro de la pequeñísima zona de la retina a la cual responde, prefiere una pequeña línea a cualquier otro estímulo

35 Dehaene y otros (2005). Esta propuesta, que se llama modelo LCD (a partir de *Local Combination Detectors*), extiende una propuesta previa de Mozer (1987).

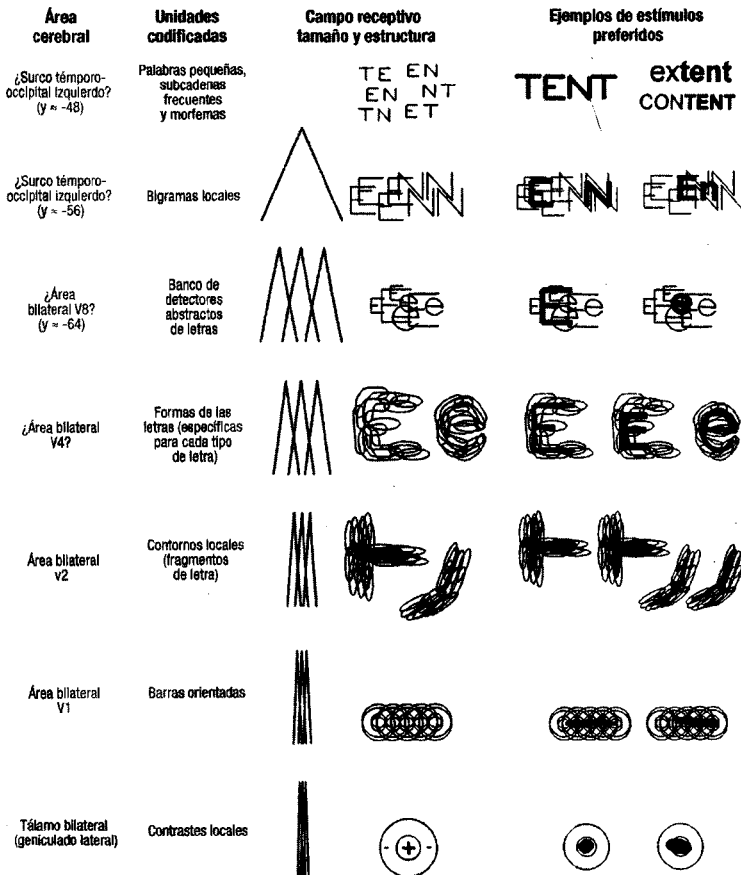


Figura 3.9. Un modelo hipotético de la jerarquía neuronal que sustenta el reconocimiento visual de las palabras. En cada etapa, las neuronas aprenden a reaccionar a un conjunto de respuestas del nivel inmediatamente más bajo. En la base de la pirámide, que comparten el reconocimiento de imágenes y el de palabras, las neuronas detectan contrastes locales y barras orientadas. A medida que uno sube, las neuronas se vuelven cada vez más especializadas para la lectura. Detectan letras, pares de letras (bigramas), luego morfemas y pequeñas palabras. En cada etapa, el campo receptivo se amplía por un factor de dos o tres, mientras que la respuesta neuronal se vuelve cada vez más independiente de la localización de la palabra y de los detalles de la imagen (tomado de Dehaene y otros, 2005). *Utilizado con el permiso de Trends in Cognitive Science.*

visual. Dado que las letras y las palabras están formadas por ese tipo de líneas, es seguro asumir que la adquisición de la lectura no cambia en gran medida el esquema de codificación temprano. La mayor parte del reciclaje neuronal ocurre probablemente en etapas posteriores, en regiones que codifican las propiedades complejas de la imagen visual. Con todo, es posible que incluso las etapas más primarias del procesamiento visual sufran cambios en los cerebros de los lectores expertos. Formas como T o X, en tanto son muy comunes, pueden ya ser procesadas por el área V1. De hecho, los experimentos de laboratorio, ya sea los realizados con monos o bien los realizados con seres humanos adultos, han mostrado que el entrenamiento intensivo puede afectar incluso las etapas más tempranas del procesamiento visual en la corteza visual primaria (Sigman y Gilbert, 2000; Sigman y otros, 2005). Es probable que la adquisición de la lectura, a una edad temprana en que el cerebro del niño es aún más plástico, cause cambios similares en las áreas visuales tempranas.

La mayoría de las formas de las letras, sin embargo, probablemente sea codificada por neuronas que se encuentran más adelante, en las dos áreas siguientes, etiquetadas como V2 y V4. Al combinar varias líneas elementales, las neuronas que se encuentran en el área V2 actúan como detectores de contornos elementales. En el paso siguiente, en el área V4, combinaciones de estas combinaciones permiten que las neuronas respondan de modo selectivo a formas simples, que incluyen presumiblemente a las letras. Incluso antes de la adquisición de la lectura, muchas neuronas ya codifican formas como T, L, X u O. Con este alfabeto de formas elementales como punto de partida, aprender a identificar otras letras es sin duda un problema simple. Es posible que la adquisición de las letras comience en las áreas anteriores de la corteza ventral temporal, donde Tanaka encuentra columnas corticales que responden a formas aprendidas en el mono macaco. Más tarde, una vez que la lectura se vuelve más automática y aprendemos a leer letra muy pequeña, el proceso de identificación puede volver progresivamente a las áreas posteriores del cerebro.³⁶

Si las neuronas del área V4 sólo reconocen conjunciones únicas de curvas, pueden codificar una (y sólo una) forma de letra. Entonces,

36 Una región cercana al área V4, particularmente en el hemisferio izquierdo, se activa más con cadenas de letras que con tableros de ajedrez, rostros o casas, cuando las palabras son presentadas en el campo visual derecho. Véanse Cohen y otros, 2000, 2002; Hasson y otros, 2002 y la figura 3.10.

¿cómo es que aprendemos que la misma letra puede aparecer en minúscula y en mayúscula? Mis colegas y yo especulamos que este conocimiento abstracto no viene del área V4, sino que se logra recién en la siguiente etapa, combinando la activación de varios detectores de formas de V4. Nuestro modelo asume que reconocemos que las formas mayúscula y minúscula de una letra representan la misma letra de un modo diferente (un tipo de conocimiento que requiere aprendizaje cultural, en el área V8 de ambos hemisferios). Este es el lugar donde, según revelaron nuestros experimentos de resonancia magnética funcional, se encontraba la capacidad para detectar una repetición de las mismas letras escritas en mayúscula o minúscula.

Recordemos que, en cada etapa, las neuronas ganan tolerancia espacial: en tanto combinan respuestas de varios detectores con campos receptivos diferentes, sus respuestas se vuelven poco a poco menos sensibles a cambios en localización y tamaño (figura 3.9, columna del extremo derecho). En el área V8, sin embargo, la invariabilidad está incompleta y no se extiende a la retina entera. Los detectores de letras deben situarse, entonces, en cada ubicación donde pueden aparecer las letras durante la lectura. Probablemente haya docenas de columnas neuronales que codifican la letra "A", cada una de las cuales responde solamente si la letra ocupa una localización precisa en la retina.

Neuronas de bigramas

En el paso siguiente, cuando se combinan las respuestas de varias neuronas calibradas para una letra, llegamos a las neuronas que son sensibles a conjunciones de letras. Este tipo de neuronas, por ejemplo, puede señalar la presencia de la letra "O" una o dos letras a la izquierda de la letra "A", una característica muy útil si uno tiene que separar cadenas muy similares como "ARO" y "ORA".

Si seguimos nuestra simple regla general, el tamaño del campo receptivo debería multiplicarse por dos o por tres a cada paso. Uno podría, entonces, esperar que las neuronas de conjunción codificaran grupos de una, dos o tres letras. ¿Por qué los pares de letras resultarían privilegiados? Para responder a esta pregunta, tenemos que considerar qué importancia le da el sistema nervioso a la invariabilidad, la selectividad y a la necesidad de maximizar la información transportada por cada neurona. Una neurona que responde a un trío de letras sólo debería poder hacerlo en una única localización. Por ende, solamente debería transmitir una

cantidad de información limitada, relativamente inútil (excepto para unas pocas palabras, tal vez para palabras gramaticales frecuentes como “del”, “por” o “era”). En el otro extremo, una neurona que sólo codificara una letra en cualquiera de tres localizaciones posibles se vería activada muy a menudo, pero no sería muy informativa, dado que no contribuiría en nada en relación con la posición de la letra en la cadena.

Con este razonamiento en mente, mis colegas y yo hemos propuesto que la combinación más útil de letras a las que las neuronas deberían prestar atención es el bigrama, es decir, un par ordenado de letras, por ejemplo: “E a la izquierda de N”. Es fácil conectar una neurona de forma tal que responda selectivamente a este par de letras pero pueda tolerar un cambio en la localización de las letras que la componen. Como se muestra en la figura 3.9, todo lo que hace falta es conjugar activación de varios detectores parcialmente superpuestos para las letras “E” y “N”, y a la vez asegurar que las “E” aparecen en su mayoría a la izquierda y las “N” a la derecha. El detector de “EN” resultante tiene mayor invariabilidad de localización que cualquiera de los detectores de letras que lo subyacen.

Si las neuronas de bigramas funcionan de este modo, deberían tolerar la presencia de unas pocas letras intermedias que se inserten entre sus dos letras preferidas. Por ejemplo, el detector de bigramas de “EN” debería responder a las palabras “entrar”, “rentar”, “tomen”, pero también a “crean”, y “viernes”, en los cuales una letra intrusa se cuele entre la “e” y la “n”. Esta propiedad surge de la estructura de los campos receptivos de las neuronas de bigramas. Con el objetivo de acomodarse a los cambios en la localización de las palabras, estas neuronas deben recolectar la información de un rango de detectores de letras en el nivel inmediatamente inferior al suyo. Los campos receptivos de estos detectores de letras están esparcidos por parte de la retina, y no tienen forma de saber si una o dos letras más se han entremetido. Entonces, las neuronas de bigramas deberían responder a un par de letras dado, incluso si está extendido espacialmente. Su respuesta puede describirse mejor como una preferencia por lo que puede llamarse un “bigrama abierto” o un par específico de letras, posiblemente separadas por una o dos letras irrelevantes.

Nadie vio nunca neuronas de bigramas. Su existencia es una conjetura fundamentada, basada en lo que sabemos sobre el sistema visual de los primates. De momento, son una construcción puramente teórica que no puede ser evaluada directamente con nuestras técnicas de imágenes, que son en cierto modo rudimentarias. Así, las neuronas de bigramas

son tan hipotéticas como lo era el neutrino en 1930 cuando Pauli postuló la existencia de esta partícula y notó con tristeza que, en principio, era imposible de detectar (fue observada veintiséis años después).

¿Por qué hay científicos serios que proponen teorías aparentemente innecesarias y especulativas como esta? Incluso si no pueden comprobarse en el presente, su rol es tanto marcar el camino para la investigación futura como volver coherentes ciertos experimentos pasados. Uno de los momentos más gratificantes del esfuerzo científico ocurre cuando, con un inolvidable “ajá”, un científico nota que de hecho una de sus construcciones teóricas hace una predicción concreta que se ajusta con claridad a los datos experimentales. Nada aumenta nuestra confianza más que la convergencia inesperada de diferentes líneas de investigación en el mismo modelo. En nuestro caso, sucede que dos investigadores, Jonathan Grainger y Carol Whitney, que estaban trabajando con una premisa totalmente diferente de la nuestra, también han llegado a plantear hipotéticamente que las palabras escritas están codificadas por una lista de bigramas (Whitney, 2001; Grainger y Whitney, 2004; Schoonbaert y Grainger, 2004). Obtuvieron esta predicción mientras buscaban un código abstracto que pudiera explicar cómo percibimos la similitud entre palabras. Sin embargo, sus observaciones experimentales encajan sorprendentemente bien con nuestra hipótesis de las neuronas de bigramas. Como el neutrino, la hipótesis de las neuronas de bigramas parecería por lo tanto arrojar luz sobre un número de enigmas experimentales y comenzar a tender un puente entre dos disciplinas que antes eran distintas, la neuropsicología y la psicología de la lectura.

Grainger y Whitney refirieron los resultados de una serie de experimentos de *priming*, o facilitación, en los que estudiaron si la presentación previa de una cadena de letras aceleraba la lectura de una segunda cadena. Por ejemplo, ver “jardín” hace que leer “JARDÍN” sea más fácil. Esto sugiere que las dos cadenas de letras comparten un código común. De hecho, no es necesario repetir todas las letras de una palabra para que ocurra la facilitación. La presentación de un subconjunto de letras, como “jrdn”, es tan efectiva para facilitar “JARDÍN” como la palabra “jardín”. Sin embargo, cadenas utilizadas como control –en las que se insertan otras letras o las letras están revueltas, como “jfrdpn” o “dnjr”– no causan *priming* (Humphreys, Evett y Quinlan, 1990; Peressotti y Grainger, 1999). Esto significa que las cadenas de letras “jrdn” y “JARDÍN” en alguna etapa de procesamiento comparten el mismo código, mientras que “dnjr” no lo hace. Es obvio que este código no es sensible a la eliminación de unas pocas letras, pero sí a su orden. Otros experi-

mentos también demuestran que el código resiste la inversión de dos letras consecutivas. Es decir que la cadena “catra” acelera la lectura de la palabra posterior “CARTA” de forma tan eficiente como la repetición misma de la palabra (Perea y Lupker, 2003; Schoonbaert y Grainger, 2004; Grainger y otros, 2006).

Las observaciones anteriores contradicen especialmente los muchos modelos de la lectura que sostienen que las cadenas se codifican como matrices de letras (McClelland y Rumelhart, 1981; Grainger y Jacobs, 1996; Ans, Carbonnel y Valdois, 1998; Zorzi, Houghton y Butterworth, 1998; Harm y Seidenberg, 1999; Coltheart y otros, 2001; Perry, Ziegler y Zorzi, 2007). En el contexto de ese planteo, “catra” y “carta” no deberían ser más similares que “calda” y “carta”, dado que en ambos casos dos letras de las cinco son diferentes. Pero esto es un error; las cadenas “caura” y “carta” son, de hecho, *muy* similares, en medida tal que a menudo se confunden. En un ejemplo de la vida real, una compañía de ropa que se llama French Connection UK estampa las iniciales “FCUK” en sus sweaters y remeras. ¡A los dueños de la compañía, sin duda, el acrónimo les pareció atractivo porque descubrieron que los cerebros de los lectores lo relacionaban de forma espontánea a una palabra del inglés que no se puede estampar!³⁷ Estos efectos abstractos de similitud son tan poderosos que no tenemos mucha dificultad para leer ociranoes cmepalots en las que las ltreas de cdaa prlaaba se han mzcaledo, ecxpe- to por la pirmrea y la útlmia ltera.³⁸

Por supuesto, debe haber algún tipo de código que sea lo suficientemente robusto como para resistir esta sopa alfabética. Luego de trabajar mucho sobre este misterio, Grainger y Whitney finalmente arribaron a la idea de los bigramas abiertos. Notaron que las palabras podían codificarse no como una lista de letras, sino como una lista de los *pares* de letras que contenían. En el programa que proponían, la palabra “carta” se codifica con una lista de diez bigramas: “CA, CR, CT, CA, AR, AT, AA, RT, RA y TA. Si dos letras consecutivas se intercambian, como en “caura”, sólo uno de los bigramas se cambia (RT se convierte en TR) y el 90% del código permanece sin cambios. Esta similitud explica por

37 En inglés, la palabra “fuck”. [N. de la T.]

38 Una discusión en profundidad de la ciencia que se encuentra detrás de la lectura de las palabras mezcladas, puede consultarse la página web del psicólogo de Cambridge Matt Davis: <www.mrc-cbu.cam.ac.uk/personalmattdavis/Cmabridge>.

qué todavía podemos leer la palabra “catra” cuando dos de sus letras están invertidas. Cuando se insertan letras irrelevantes o se las reemplaza, como en “calda”, el código cambia de forma más definitoria. La cadena “calda” sólo comparte el 30% de sus bigramas con “carta”, lo que explica la ausencia de efecto de *priming*. El código está menos afectado por la inversión o la eliminación de unas pocas letras que por la inserción de algunas no aceptables. Todos los bigramas de la cadena “jrdn” están incluidos en la palabra “jardín”, mientras que menos de la mitad de los que se encuentran en “jfrdpn” pertenece a esta palabra. La resistencia del código de bigramas a las eliminaciones parciales y a las inversiones locales da cuenta de nuestra habilidad para leer ocarinones en las que la psicóin de las ltreas etsá mzcaleda.

Otra ventaja del código de bigramas es que no es sensible a cambios en la localización y en el tamaño. Incluso si se mueve la palabra “carta”, si se la agranda o se la reduce, la “c” va a permanecer a la izquierda de la “r” y la “r” a la izquierda de la “a”. En otras palabras, los bigramas no se ven afectados por la localización exacta ni por el tamaño de una palabra impresa. Esta forma de codificación garantiza que se respete la invariabilidad.

Sobre la base de estos argumentos, Grainger y Whitney propusieron que las palabras escritas son codificadas por la lista exhaustiva de sus bigramas. Un escrutinio detallado, sin embargo, revela algunos problemas de esta propuesta formal. En primer lugar, predice que debería ser fácil leer palabras en las que las l e t r a s e s t á n e s p a c i a d a s, incluso de forma n o r e g u l a r. De hecho, esta transformación preserva todos los bigramas, e incluso vuelve más evidente el orden de las letras. Sin embargo, estas cadenas son difíciles de leer. Otra complicación es que la lista de bigramas es ambigua, dado que no asigna un código único para todas y cada una de las letras. Las palabras “nana” y “anna”, por ejemplo, contienen el mismo conjunto de bigramas: AA, NN, AN y NA. Si nuestro sistema visual sólo atendiera a los bigramas, no deberíamos ser capaces de distinguir entre estas dos palabras. Incluso deberíamos aceptar sin problemas secuencias de letras improbables como “naananan”, que tiene los mismos bigramas que la palabra “anna”.

En este punto es que las propiedades biológicas de las neuronas de bigramas vienen al rescate de la propuesta formal de Grainger y Whitney. Una neurona de bigramas no puede responder a su par de letras preferido sin importar dónde aparece en la retina. Como ocurre con cualquier otra neurona, su campo receptivo es limitado. El código

de bigramas neuronal tiene selectividad espacial y debe replicarse en diferentes puntos del campo visual. Por ejemplo, algunas neuronas de bigramas reaccionan al par de letras NA al principio de “nana”, pero no al final, y por eso no al estímulo “anna”, en el que las letras “na” caen fuera de sus campos receptivos. En conjunto, las neuronas de bigramas asignan un código único a cada palabra en particular.

La hipótesis del detector local de bigramas explica también por qué poner un espacio entre las letras vuelve más lenta la lectura. El campo receptivo de las neuronas aumenta sólo multiplicándose por dos o tres en cada paso de la pirámide visual. Como resultado, las letras de los detectores de bigramas pueden tolerar apenas un cambio pequeño, de más o menos dos o tres posiciones de letras (véase la figura 3.9). Gracias a que su campo receptivo es limitado, las neuronas de bigramas sólo se disparan si la primera letra de un par está a menos de dos letras de la segunda. Por ejemplo, una codificación neuronal del par AM puede reaccionar a las palabras “cama”, “alma” y “átomo”, pero no a “alarma” o “altruismo”.

Este razonamiento permite hacer una predicción muy simple: el desempeño en la lectura debería resistir cierto grado de espaciado entre las letras de una palabra; pero, a medida que aumentamos el espaciado, el rendimiento debería deteriorarse, y finalmente colapsar cuando el espaciado llegue a dos caracteres. Fabien Vinckier, Laurent Cohen y yo verificamos esta regla. Tan pronto como el espaciado entre letras llega a dos caracteres, el reconocimiento de las palabras deja abruptamente de ser rápido y paralelo (Vinckier y otros, 2006). Puede probar esto usted mismo en las siguientes oraciones, en las cuales poco a poco aumenta el espacio entre las letras. Sus neuronas de bigrama toleran con facilidad un espacio entre letras de una letra, o incluso de una letra y media. Sin embargo, tan pronto como el espaciado excede de los dos caracteres, su desempeño colapsa: la lectura rápida se vuelve imposible. Usted se encontrará en la posición de un lector iniciante: ¡las neuronas de

b i g r a m a s e n s u
 á r e a d e l a c a j a d e
 l e t r a s h a n d e j a d o
 d e r e s p o n d e r!

Un árbol de palabra neuronal

En el caso de que las neuronas de bigramas existieran, ¿qué tipo de código neuronal deberíamos esperar en la siguiente etapa de la pirámide visual? Uniendo varios bigramas, las neuronas que están más alto en la jerarquía deberían responder a las combinaciones complejas de letras. Sus campos receptivos deberían permitirles detectar cadenas de hasta cinco letras en la lengua del lector. Qué cadenas deberían codificarse preferentemente suele ser todavía tema de especulación. En el capítulo 1, expliqué cómo la lectura está organizada en dos caminos paralelos: las rutas de conversión de ortografía en sonido y de ortografía en significado. Las neuronas visuales de orden más alto, entonces, deberían extraer cadenas de letras significativas para una ruta o para la otra. Algunas neuronas deberían verse afectadas principalmente por grafemas frecuentes que se proyectan en patrones específicos de sonido, como “flo”, “ter” o “endo”. Otras deberían reaccionar a palabras gramaticales cortas (“pero”, “asi”, “era”), raíces de palabras (“com-”, “borr-”) prefijos (“anti-”, “pre-”) o sufijos (“-iendo”, “-ción”, “-és”). En este nivel, sería razonable esperar una codificación cerebral de los morfemas, la unidad lingüística mínima con significado semántico.

Debemos tener en mente, sin embargo, que en este nivel al sistema visual sólo le interesa la ortografía. Detecta meramente las cadenas frecuentes de letras que transmiten información necesaria para la comprensión y la pronunciación. Por tanto, el modelo neuronal que estoy esbozando predice que los seudomorfemas –cadenas de caracteres que parecen raíces de palabras, pero en realidad no tienen relación con el significado de la palabra– deberían extraerse del mismo modo que morfemas reales. Nuestro sistema visual debería separar ciegamente la palabra “departamento” en el prefijo “de-”, la raíz “part-”, y el sufijo “-mento”, y debería archivarlo con palabras como “partir”, “repartir”, y “partida”, aunque esas palabras no tengan el mismo significado. Muchos experimentos, tanto en francés como en inglés, demuestran que esta segmentación ciega ocurre: la extracción de un árbol de palabra aproximado es un paso clave, automático e inconsciente en el reconocimiento

visual de las palabras, a un extremo tal que la presentación de “talo” puede tener un efecto de *priming* sobre la lectura de una palabra no relacionada pero similar superficialmente como “talón” (Rastle y otros, 2000; Longtin, Seguí y Hallé, 2003).

En el capítulo 1, insistí en que las palabras se comportan como árboles, cuyas hojas son las letras y cuyas ramas son las varias combinaciones de letras extraídas por nuestro sistema visual. Este diagrama arbóreo ahora cobra un significado muy literal, porque coincide con el árbol anatómico que conforman las millones de neuronas del área de la caja de letras y sus miles de millones de interconexiones. Cada una de ellas hace su pequeño aporte al reconocimiento de las palabras, desde los detectores iniciales de líneas, hasta las neuronas sensibles a bigramas y a morfemas. En ningún punto de esta jerarquía neuronal una palabra está representada por una sola neurona. En cada nivel, un conjunto considerable de células activas representa la vasta colección de rasgos que pintan colectivamente un retrato puntilloso de la palabra impresa. Igual que un roble de cien años, este árbol neuronal está bien estructurado pero es flexible y está construido para resistir cambios en su ambiente natural. Un cambio en una palabra en la retina es como una ráfaga de viento: sacude las hojas y las pequeñas ramas, pero no afecta para nada el tronco y las ramas principales. Así, el árbol neuronal que representa una palabra logra permanecer invariante frente a los cambios en tamaño, posición y forma, e incluso en el orden local de las letras que lo componen.

El árbol neuronal que tracé en la figura 3.9, con su prolija estructura jerárquica, es con toda probabilidad demasiado simple para la redundancia floreciente de nuestro sistema nervioso. En busca de sencillez, solamente incluí las conexiones excitatorias, lo que implicaría que las neuronas sólo se excitan unas a otras. En realidad, algunas neuronas también inhiben a sus vecinas y suprimen su descarga. Las conexiones inhibitorias podrían tener un rol importante en el reconocimiento de las palabras; por ejemplo, podrían ser una señal de la ausencia de una determinada letra en la cadena que se lee. Además, asumí que cada neurona sólo se conecta con el nivel que se encuentra inmediatamente por encima, de una manera siempre ascendente y hacia delante. En el sistema nervioso de la vida real, sin embargo, se sabe que existen otras conexiones, que se llaman “laterales” u “horizontales”, que unen las neuronas que están dentro de determinada área visual. En el área primaria V1, estas conexiones ayudan a que las neuronas activas se apoyen unas a las otras cuando todas votan por la misma interpretación visual (por ejemplo, cuando codifican diferentes porciones de un mismo

contorno). En los niveles de las letras y de los bigramas, este tipo de conexiones laterales puede codificar las relaciones probabilísticas entre letras consecutivas, como el hecho de que la letra “q” casi siempre esté seguida por la letra “u”.

Por último, no deberíamos olvidar que la corteza visual contiene gran cantidad de proyecciones descendentes que van de cierta área a la *precedente* en la jerarquía visual. Estas conexiones descendentes podrían pre-seleccionar determinadas combinaciones de letras, según el contexto. Pueden ayudar a eliminar algunas ambigüedades, en especial cuando se descifra la letra manuscrita. Las letras escritas a mano muchas veces no pueden decodificarse de manera serial: se reconocen primero las letras y luego se las ensambla en palabras. Recordemos la frase *las abejas vuelan cerca de los niños que leen en el jardín*; en ese caso las letras “e” y “c” tienen exactamente la misma forma en “cerca”. En este tipo de casos, la identificación de las letras llega después de que se ha identificado la palabra, no antes. Con el apoyo del contexto oracional, la palabra “cerca” probablemente envía un voto de arriba abajo a favor de las letras “c” y “e” (Reicher, 1969; Spoehr y Smith, 1975; Rumelhart y McClelland, 1982). La interrelación constante de las conexiones de arriba abajo y de abajo arriba permite que se dé una implementación neuronal del “pandemonio” de Selfridge que analizamos en el capítulo 1. Las poblaciones de neuronas actúan literalmente como una asamblea de demonios que envían mensajes constantemente en todas direcciones, pasándose así unos a otros la información fragmentaria con que cuentan, hasta que todo el grupo llega a un acuerdo.

¿Cuántas neuronas para la lectura?

Puede parecer que el modelo jerárquico que acabo de delinear conduce a una explosión de la cantidad de neuronas necesarias para la lectura. Si cada etapa de nuestro sistema visual representa todas las combinaciones neuronales posibles que ocurren en la etapa previa, lógicamente puede parecer que el número de neuronas que harían falta crece más allá de los límites razonables. Por suerte, este no es necesariamente el caso.

De hecho, existen soluciones simples al problema combinatorio planteado por mi modelo. Por un lado, en cada etapa del procesamiento, las neuronas sólo necesitan extraer combinaciones de letras que ocurren con cierta frecuencia y son relevantes para la lectura, lo que forma un pequeño subconjunto del total de combinaciones posibles de letras.

En el nivel de los bigramas, por ejemplo, debería haber detectores del par de letras EN, que es frecuente en español, pero parece poco probable que el sistema visual dedique neuronas a pares de letras que nunca ocurren, como QR o JM. Para respaldar esta hipótesis, hace poco se ha realizado la siguiente observación vinculada con la frecuencia, mediante la utilización de resonancia magnética funcional: cuanto más frecuente es el bigrama, más consistente es la activación en el área de la caja de letras (Binder y otros, 2006). Esto también podría explicar por qué esta área responde más a palabras y pseudopalabras posibles como “cencha-ble” que a cadenas aleatorias de consonantes como “sjrpltmq” (Cohen y otros, 2002).

Por otro lado, a medida que las neuronas responden a combinaciones cada vez más complejas de rasgos visuales, su invariabilidad es mayor y, por tanto, dejan de lado otras distinciones irrelevantes para la lectura. La discrepancia entre las letras trazadas en mayúsculas y en minúsculas, por ejemplo, deja de importar en una etapa temprana en el flujo visual (posiblemente en el área V8 y más allá). Para las neuronas de bigramas, del mismo modo, el gran número de pares posibles de letras se compensaría con la disminución del número de posiciones codificadas, porque los campos receptivos de las neuronas crecen a cada paso.

También deberíamos tener en mente que durante el transcurso de la lectura los movimientos oculares siempre conducen las palabras relevantes a un área estrecha del campo visual, cercana a la fovea y principalmente a la derecha de esta. Cuando aprendemos a leer, sólo se les da la oportunidad de convertirse en detectores de letras y bigramas a las neuronas que codifican estas localizaciones. De hecho, sólo las letras que se presentan en el centro de la mirada, o apenas a la derecha de ella, y en un ángulo cercano a la horizontalidad, son procesadas eficientemente por la ruta t́empero-occipital ventral (Bouma, 1973; Lavidor, Babkoff y Faust, 2001; Nazir y otros, 2004; Vinckier y otros, 2006). De este modo, sólo un número limitado de neuronas está involucrado.

Al fin y al cabo, ¿podemos llegar a una estimación aproximada de la cantidad de corteza que se requiere para el reconocimiento visual de las palabras? Si tomamos en consideración que hay veintiséis letras en el alfabeto occidental³⁹ y aproximadamente veinte localizaciones de la retina en que cada una de estas letras puede aparecer durante la lectura, se necesitan aproximadamente quinientas columnas de neuronas para

39 Sin incluir la ñ del alfabeto del español, que tiene veintisiete letras. [N. de la T.]

el banco inicial de detectores de letras. Si se adopta un valor conservador de diez columnas por milímetro cuadrado de corteza, esta etapa de procesamiento debería caber en medio centímetro cuadrado de corteza. En el nivel siguiente, si se admite que sólo se codifican tres localizaciones aproximadas a través de las neuronas de bigramas (el principio de la palabra, el medio o el final) y que con los doscientos bigramas más comunes alcanza para representar la mayoría de las palabras, llegamos a una estimación similar de aproximadamente seiscientas columnas de neuronas de bigramas. Estas también ocuparían un área cortical de alrededor de medio centímetro cuadrado. Por último, en el siguiente nivel hacia arriba, en el que los bigramas se combinan en cadenas más largas, parece posible que una colección de más o menos quinientos prefijos, sufijos, raíces y grafemas complejos sea suficiente para representar las pocas decenas de miles de palabras cuya ortografía está almacenada. Esto también significaría medio centímetro cuadrado de corteza.

Estos rangos de magnitud, aunque son muy aproximados, generan una predicción simple: más allá de que las palabras sean codificadas a través de sus letras, sus bigramas o sus morfemas, cada una de estas representaciones debería ocupar aproximadamente la misma superficie cortical: un pequeño parche de medio centímetro cuadrado, que corresponde aproximadamente a un disco de más o menos ocho milímetros de diámetro. Esto, a su vez, predice que la activación cortical evocada por una palabra debería moverse hacia delante en el cerebro visual aproximadamente ocho milímetros a medida que la información progresa de un nivel al siguiente (figura 3.9). Sorprendentemente, las imágenes cerebrales confirman la existencia de una progresión espacial. La lectura activa una estrecha banda de corteza, de varios centímetros de largo, que se extiende desde la parte posterior del cerebro hacia el frente del surco ténporo-occipital. Se han detectado subdivisiones funcionales en esta franja (Dehaene y otros, 2004; Vinckier y otros, 2007). El código neuronal se vuelve notoriamente más abstracto a medida que progresa hacia el frente del cerebro.

Mi estimación del número de neuronas necesarias para la lectura es, por supuesto, muy aproximada. No tiene en cuenta varios factores. De acuerdo con Keiji Tanaka, las neuronas vecinas *dentro* de una columna cortical pueden codificar variantes de una misma forma básica. Por ejemplo, en el mono, neuronas vecinas pueden codificar un disco, una elipse o un objeto con forma de papa. Si esta idea se extiende a la lectura, puede predecir la existencia de columnas combinatorias, donde las varias neuronas codificarían, por ejemplo, todas las combinaciones posi-

bles de determinada consonante y diferentes vocales (ta, te, ti, to, tu...), o viceversa (sa, na, ta, ra, la, ca...). En ese caso, el código cortical sería tan compacto que sólo se precisarían unas pocas docenas de columnas corticales para representar cualquier palabra escrita. Como ocuparía menos espacio cortical, esta solución permitiría que las columnas corticales para palabras, objetos y caras se entremezclaran. Las imágenes cerebrales y los registros intracraneanos sugieren, de hecho, que la preferencia de una región cortical pocas veces es categórica (Allison y otros, 1994, 1999; Haxby y otros, 2001; Grill-Spector, Sayres y Ress, 2006). Es decir que el área de la caja de letras probablemente incluya una mezcla de columnas corticales, algunas de las cuales respondan a letras mientras que otras también reaccionen a caras, herramientas y una variedad de otras formas visuales (McCroory y otros, 2005).

En resumen, el programa que propuse es compatible con la cantidad de corteza disponible para el reconocimiento visual de las palabras. Se puede evitar un *boom* en la cantidad de neuronas dedicadas a la lectura. Todo lo que se necesita es un mecanismo de aprendizaje eficiente que asigne las neuronas con moderación a las combinaciones de letras más frecuentes, informativas e invariantes.

Una simulación de la corteza del lector

Probablemente sólo se conseguirá dar una imagen precisa de la arquitectura neuronal de la lectura si se simula la adquisición de la lectura en una computadora cuya arquitectura se parezca a la de la corteza. Hoy en día, sin embargo, una simulación de este tipo continúa siendo un sueño inaccesible. Sería necesaria una supercomputadora tanto más poderosa que cualquier máquina actualmente disponible para duplicar el impacto de miles de horas de lectura en los millones de neuronas del área de la caja de letras. De momento, sólo podemos esperar que el progreso futuro en el poder de cálculo, junto con el surgimiento de nuevas computadoras dedicadas a la simulación de redes neuronales, permita finalmente una simulación adecuada del cerebro del lector.

Mientras tanto, vale la pena reflexionar sobre cómo una simulación podría incorporar los muchos sistemas de escritura diferentes, del mundo entero. En principio, la arquitectura cerebral para la escritura occidental debería aplicarse de igual modo para la escritura china. Cuando se la expusiera al chino, debería desarrollar neuronas que se ajusten a los caracteres frecuentes y a sus componentes internos. De hecho, la

mayoría de los caracteres chinos incluye una pequeña cantidad de marcadores semánticos y fonéticos que, a su vez, están compuestos por algunos trazos estandarizados, es decir, un conjunto anidado de regularidades visuales que podría ser capturado con facilidad por un algoritmo jerárquico de aprendizaje. Los experimentos conductuales muestran que la lectura del chino depende de un plan jerárquico y combinatorio como este (Ding, Peng y Taft, 2004). Sin embargo, todavía deben descubrirse los equivalentes chinos de las neuronas de bigramas.

Incluso entre los lectores del alfabeto occidental, las neuronas probablemente se vuelvan sensibles a unidades de diferentes tamaños. Las lenguas cuya ortografía es transparente, como el italiano, sólo requieren un modesto banco de detectores de letras y de bigramas. Las lenguas cuya ortografía es opaca, como el inglés o el francés, necesitan en cambio un conjunto más extenso de neuronas para codificar unidades ortográficas tan largas y complejas como “ough”, “tion”, o “ould”, que se proyectan en sonidos del habla (Ziegler y Goswami, 2005). Este tipo de regularidades visuales, que va más allá del nivel de las letras, sólo puede ser extraído por neuronas ubicadas en una posición alta en la jerarquía visual. Eso equivale a decir que nuestro modelo predice que la lectura del inglés debería depender de regiones cerebrales más extensas y más anteriores que la lectura del italiano. Esto es exactamente lo que observaron Eraldo Paulesu y sus colegas, como observamos en la figura 2.20 (Paulesu y otros, 2000). De forma similar, en japonés, las diferencias en la actividad cerebral para los sistemas de escritura kanji (que requiere memorizar miles de caracteres) y kana (que sólo contiene cuarenta y seis sílabas) podría atribuirse al aprendizaje de inventarios visuales cuyo tamaño y complejidad son increíblemente diferentes (Ha Duy Thuy y otros, 2004; Nakamura y otros, 2005).

Sesgos corticales que le dan forma a la lectura

Si bien ahora sabemos que la adquisición de la lectura converge sistemáticamente en la misma región de la corteza, la causa de esta localización precisa todavía está envuelta en un misterio. ¿Por qué el área de la caja de letras está ubicada sistemáticamente en el hemisferio izquierdo y por qué esto vale para todos los lectores y todos los sistemas de escritura existentes en el mundo? ¿Qué es lo que permite que esta área esté segregada de otras áreas involucradas en el reconocimiento de objetos y de rostros?

Si bien está dotada de una plasticidad considerable, la corteza visual no debería entenderse como una tábula rasa en que el aprendizaje deja su huella (Quartz y Sejnowski, 1997). El mero hecho de que esté organizada en subterritorios reproducibles, cuya distribución es idéntica en todos los humanos, implica que nuestra corteza no es equipotencial. Deben existir predisposiciones tempranas que dan forma al cerebro visual del lector y explican la localización consistente de la lectura. Incluso antes de que se reciclen en detectores de letras y bigramas, estas neuronas probablemente comparten propiedades intrínsecas de sensibilidad visual y de proyección hacia las áreas del lenguaje que las vuelven peculiarmente apropiadas para la lectura.

Un primer sesgo fue identificado hace poco por Uri Hasson, Rafi Malach y sus colegas del Weismann Institute (Levy y otros, 2001; Hasson y otros, 2002; Malach, Levy y Hasson, 2002). Utilizaron neuroimágenes y demostraron que la preferencia por las imágenes centrales y periféricas difiere de una región a otra. Un vistoso gradiente de preferencia, de cinco o seis centímetros de largo, surca la corteza visual ventral (figura 3.10). Cada punto de la corteza visual, incluso bastante alejado del área visual primaria, tiene una preferencia característica por una localización dada de la retina. En ambos hemisferios, las regiones situadas a los lados del cerebro prefieren los finos estímulos visuales presentados cerca de la fovea, mientras que las regiones que están más cerca de la línea media del cerebro prefieren recibir información de la periferia del campo visual.

Los orígenes de este gradiente todavía son desconocidos, pero su tamaño y su uniformidad guardan una semejanza con los gradientes que se forman durante el desarrollo embrionario. Pensemos, por ejemplo, en cómo el tamaño de los vertebrados decrece de manera uniforme a medida que uno se mueve a lo largo de la columna vertebral de un animal hacia la cola. Se piensa que este tipo de variación uniforme es resultado de un mecanismo biológico clásico: un cambio en la concentración de mensajes químicos llamados morfógenos, que se difunden a través de un organismo en desarrollo y especifican su plan espacial básico. El concepto data del matemático Alan Turing, que estaba intrigado por las hermosas formas que podían encontrarse en la naturaleza. Turing (1952) demostró matemáticamente que si las sustancias tienen reacciones químicas a medida que se esparcen por el tejido biológico, pueden inducir patrones organizados espacialmente. Cuando un morfógeno se difunde, desde una localización espacial fija, crea un gradiente de concentración decreciente que sirve como marcador espacial sustituto. Por

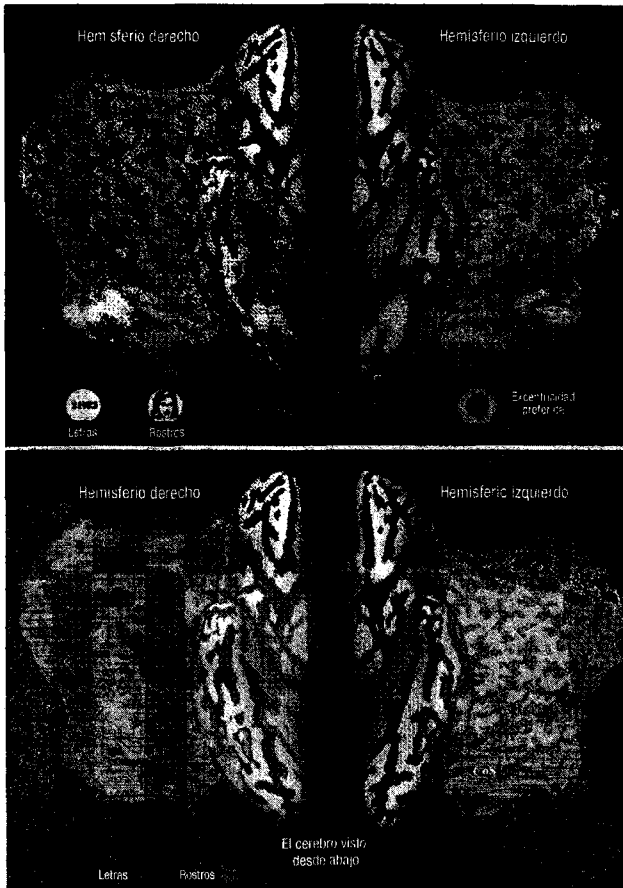


Figura 3.10. Los gradientes de especialización visual pueden explicar por qué el área t mporo-occipital de la caja de letras siempre se encuentra en la misma localización cortical. Un gradiente importante abarca todo el largo de la corteza visual ventral (arriba): las regiones laterales prefieren las imágenes que se presentan en el centro de la retina, la fóvea (en gris oscuro), mientras que las regiones que est n más cerca de la línea media del cerebro prefieren imágenes que se presentan en la periferia (en gris claro). La lectura y el reconocimiento de caras, que requieren un análisis minucioso, aterrizan en la corteza que est  sesgada hacia la fóvea (tomado de Hasson y otros, 2002). *Utilizado con el permiso de Neuron.*

ejemplo, si los niveles de morfogén fuesen más altos en el centro del cerebro que en sus costados, y si esta concentración modulase la atracción de fibras nerviosas que llegan de la fovea, el resultado sería una red sesgada genéticamente. Este sistema procesaría preferentemente estímulos de alta resolución utilizando las regiones laterales de la corteza, coincidente con la distribución espacial que observaron Uri Hasson y sus colegas.

¿Cómo se relaciona con la lectura este gradiente de preferencia de la retina? Hasson notó que en todos los individuos el área de la caja de letras siempre cae en una localización precisa de este gradiente, un lugar caracterizado por su absoluta preferencia por imágenes de la fovea con mucho detalle. La región vecina, que prefiere rostros, también está sesgada hacia la fovea, mientras que la región que se ocupa de las casas y de las escenas exteriores prefiere la periferia del campo visual.

Estas observaciones nos permiten aproximarnos a un escenario sencillo que explique por qué la lectura se desarrolla donde lo hace. Desde que nacemos, las neuronas visuales ya están sesgadas: algunas están mejor preparadas para aprender detalles visuales muy finos, gracias a su conexión preferente con la fovea, mientras que otras privilegian estímulos con menos detalles. Las neuronas detallistas tienen una ventaja sobre otras neuronas para el reconocimiento de cadenas de letras, para las cuales se requiere un alto grado de precisión visual. Como resultado, las regiones laterales de la corteza visual, donde estas neuronas son más numerosas, están preferentemente involucradas en la lectura.

El gradiente de preferencia de la retina, sin embargo, provee sólo uno de los tres ejes de un sistema coordinado que especifica la localización del área de la caja de letras. Son necesarios otros sesgos para señalar esta área. Como ya hemos comentado, hay un segundo gradiente innato, que va de atrás adelante y define en términos generales el nivel jerárquico de cada área visual (figura 3.5). En el polo occipital, las neuronas responden a fragmentos simples de la imagen que se ve, mientras que los sectores anteriores de la corteza prefieren objetos más complejos y estructurados (Grill-Spector y otros, 1998; Lerner y otros, 2001). Al respecto, no es sorprendente detectar que el área de la forma visual de las palabras ocupe una franja relativamente extendida de la corteza, cuyo extremo posterior responde a simples letras, mientras que el frente responde a fragmentos complejos de palabras (Dehaene y otros, 2004).

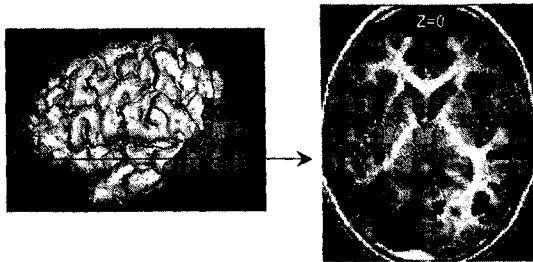
Por último, otra fuente de preferencia puede proceder de las propiedades distintas de los dos hemisferios. ¿Por qué la lectura depende del cerebro visual izquierdo, mientras que los rostros caen siempre mayor-

mente en el hemisferio derecho? Esta falta de simetría, o “ruptura de la simetría”, como la llaman en física, podría tener un origen visual. Es bien sabido que el hemisferio izquierdo está a cargo de la discriminación de las pequeñas formas locales, mientras que el derecho preferentemente lidia con las formas globales (véanse, por ejemplo, Kitterle y Selig, 1991; Robertson y Lamb, 1991). Otro factor puede ser la lateralización del lenguaje. Incluso cuando nacemos, el procesamiento del habla involucra preferentemente las regiones temporales y frontales del hemisferio izquierdo. La adquisición de la lectura selecciona, probablemente, las regiones visuales cuyas proyecciones a las áreas del lenguaje son abundantes y directas. Por ende, la región temporal ventral tendría una ventaja sobre su melliza del hemisferio izquierdo, cuyos axones tienen que hacer un largo rodeo a través del cuerpo calloso antes de llegar al hemisferio izquierdo.

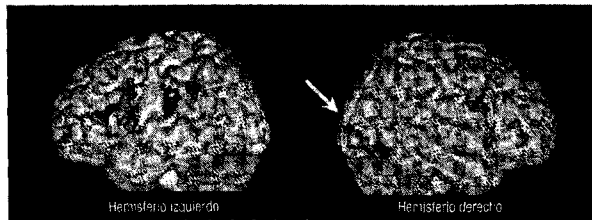
El modelo jerárquico de la figura 3.9 propone tentativamente que la lateralización del reconocimiento visual de las palabras al hemisferio izquierdo es un proceso paulatino. Las regiones de nivel bajo tienen que ser bilaterales, porque las neuronas visuales tempranas de cada hemisferio sólo responden a las letras que se les presentan en la mitad opuesta del campo visual. A medida que se avanza en el cerebro, los campos receptivos se amplían y uno empieza a encontrar neuronas capaces de responder a cualquier lado del campo visual de ambos hemisferios. Creo que siempre que existe esta redundancia de potencial entre los hemisferios, los sesgos visuales y lingüísticos hacen que el hemisferio izquierdo tenga supremacía sobre el derecho durante la adquisición de la lectura. Como resultado, a medida que se avanza en la jerarquía visual, se debería encontrar un número cada vez mayor de neuronas especializadas para la lectura en el hemisferio izquierdo.

Si mi hipótesis acerca de los sesgos corticales innatos es correcta, no hay un área preconectada para la lectura, sino varias predisposiciones genéticas que crean una gama de preferencias neuronales para diferentes tipos de estímulos visuales. Durante la adquisición de la lectura, el reconocimiento visual de las palabras simplemente desembarca en la localización cortical donde las neuronas son más eficientes en esta tarea. En todos los humanos, la intersección de los gradientes genéticos crea un solo “lugar ideal” para las cadenas de letras: el área de la caja de letras.

Lesión causada por una intervención quirúrgica a los 4 años de edad



Red de lectura observada a los 11 años de edad



Desplazamiento del área de las formas visuales de las palabras

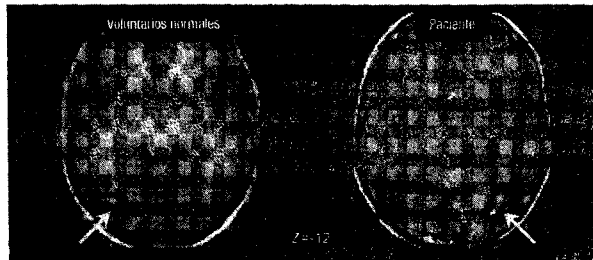


Figura 3.11. A lo largo del desarrollo, las redes para la lectura de los niños son mucho más flexibles que las de los adultos. En esta joven paciente, el área que normalmente está asociada con el reconocimiento visual de las palabras, en la región ténporo-occipital izquierda, se extirpó quirúrgicamente a la edad de 4 años (la lesión puede verse de forma clara en las imágenes de arriba). En cualquier adulto, una lesión de este tipo causaría un déficit severo para la lectura. Sin embargo, esta joven niña aprendió a leer sin muchas dificultades. Siete años más tarde, la red de la lectura se activaba de forma normal, pero el área de la forma visual de las palabras había cambiado de hemisferios: ahora estaba dentro de la región ténporo-occipital derecha, en una localización exactamente simétrica a su lugar usual (abajo) (tomado de Cohen, Lehericy y otros, 2004). *Utilizado con autorización de Annals of Neurology.*

¿Qué ocurre si esta área, por una u otra razón, deja de estar disponible? El aprendizaje debería asegurar que otras neuronas menos eficientes tomaran el mando. Mi colega Laurent Cohen y yo probamos esta idea hace poco en una joven paciente. Cuando tenía 4 años, esa niña había sufrido ataques de epilepsia tan severos que fue necesario extirpar todo el cerebro visual izquierdo. La lesión quirúrgica claramente abarcaba la localización normal del área de la caja de letras (figura 3.11). A pesar de esta cirugía tan importante, la niña luego aprendió a leer normalmente, aunque era algo más lenta que lo usual. Al analizar su cerebro cuando ella tenía 11 años, finalmente entendimos cómo había hecho para aprender a leer tan bien. A pesar de que todas sus áreas de lenguaje hablado estaban intactas en el hemisferio izquierdo, ella compensaba la pérdida del área de la caja de letras reconociendo –por obra del hemisferio derecho, que la cirugía no había dañado– las palabras escritas. Es más, la lectura activaba de manera selectiva una región exactamente simétrica a la de los lectores normales: en el surco ténporo-occipital lateral, en la misma localización del área de la caja de letras en los ejes lateral y anterior-posterior, pero en el hemisferio derecho (figura 3.11) (Cohen, Lehéricy y otros, 2004). ¡Su área de la caja de letras simplemente había cambiado de hemisferio!

Otros investigadores observaron una activación similar del hemisferio derecho en un niño “hiperléxico” que era notablemente precoz en el aprendizaje de la lectura (Turkeltaub y otros, 2004). También se ve un área de las formas visuales de las palabras en el lado derecho en los pacientes adultos con alexia pura que se recuperan de un ataque cerebral que afectó el sistema visual izquierdo (Cohen y otros, 2003). Es decir que la contribución de esta región a la lectura no es excepcional. El sistema visual se comporta como si sus predisposiciones implementaran una suerte de “lista de espera” de las áreas más apropiadas para la lectura. Si la región óptima ya no está disponible, la segunda de la lista, que parece ser el área simétrica en el hemisferio derecho, toma el mando.

Ningún otro descubrimiento experimental podría ilustrar mejor la conclusión fundamental de que no hay un área predefinida que haya evolucionado para la lectura. Aprender a leer supone hacer leves ajustes a nuestro cerebro de primates. Utilizando todos los medios que están disponibles, nuestro cerebro recicla las regiones más apropiadas de nuestra corteza visual para la innovadora tarea de reconocer palabras.

4. La invención de la lectura

La hipótesis del reciclaje neuronal implica que nuestra arquitectura cerebral determina la forma en que leemos. Ciertamente, se pueden encontrar vestigios de estas restricciones biológicas en la historia de los sistemas de escritura. A pesar de su aparente diversidad, todos comparten una gran cantidad de rasgos comunes, que reflejan cómo la información visual se codifica en nuestra corteza. La neurociencia de la lectura arroja nueva luz sobre el sinuoso camino histórico que finalmente llevó al alfabeto tal como lo conocemos. Podemos considerarlo un proceso de selección masiva: a lo largo del tiempo, los escribas desarrollaron notaciones cada vez más eficientes que se adaptaban a la organización de nuestros cerebros. En pocas palabras, nuestra corteza no evolucionó de forma específica para la escritura. Al revés, fue la escritura la que evolucionó para adaptarse a la corteza.

En la ciudad egipcia de Naucratis había un famoso dios antiguo cuyo nombre era Theuth... Era el inventor de muchas artes tales como la aritmética, el cálculo, la geometría, la astronomía, el juego de damas y los dados, pero su gran descubrimiento fue el uso de las letras.

Platón, Fedro

La idea de que la escritura es un regalo de Dios se repite en las culturas de todo el mundo. Los babilonios pensaban que todas las formas de la magia, incluyendo la escritura, venían de Ea, el dios de la sabiduría. Los asirios reverenciaban a Nabu, el hijo de Marduk, que le enseñó a la humanidad sobre el arte y el trabajo, desde la arquitectura hasta la escritura. En la religión hindú, Ganesh, el dios de la sabiduría con cabeza de elefante, inventó la escritura; ¡incluso rompió uno de sus colmillos para usarlo como lápiz! En la Biblia, fue Yahvé mismo quien le entregó a Moisés los Diez Mandamientos escritos por su mano sagrada.

La escritura tiene algo muy mágico, no porque haya algo divino en sus orígenes, sino porque aumentó en gran medida las capacidades de nuestro cerebro. Es casi milagroso que el *Homo sapiens*, un mero primate, haya sido capaz de extender radicalmente su memoria trazando unas pocas marcas en un papel. Esta transformación no estaba predestinada. La pura suerte nos dio una red neuronal que liga las áreas visuales y del lenguaje y es lo suficientemente plástica para reciclarse y reconocer las formas de las letras. Incluso este proceso de reciclaje está severamente constreñido: sólo un circuito localizado parece tener las propiedades óptimas que se necesitan para la lectura. Pese a todo, después de reconvertirse para la lectura, este circuito sigue poseyendo la mayoría de las propiedades que ha heredado de su evolución. La inercia biológica lleva la delantera respecto de la innovación cultural.

La hipótesis del reciclaje neuronal que he propuesto, por tanto, lleva a una conclusión radical: las restricciones cerebrales han marcado la historia de la escritura, y continúan teniendo un impacto en su adquisición. Nuestro conocimiento acerca de los circuitos corticales de

la lectura debería permitir que comprendamos mejor la invención y el aprendizaje de la lectura. Esta hipótesis nos conduce a hacer dos nuevas preguntas: ¿cómo es que los humanos descubrieron que su corteza visual podía transformarse en un dispositivo de comprensión de textos? ¿Cómo es que este proceso de reciclaje vuelve a ocurrir en el cerebro de cada niño que aprende a leer?

En los tres próximos capítulos de este libro, intento abordar estos puntos y analizar tres consecuencias simples pero profundas de la hipótesis del reciclaje neuronal:

1. *La evolución de la escritura.* Si nuestra organización cerebral le pone un límite tajante a las variaciones culturales, algunas impactantes regularidades interculturales deberían resultar evidentes en todos los sistemas de escritura del presente y del pasado. Estas regularidades deberían poder rastrearse en las características del cerebro.
2. *La evolución de las habilidades humanas.* Aprender a leer y escribir aumentó drásticamente la capacidad de la memoria humana y el volumen de la comunicación entre los seres humanos, pero este desarrollo también puede tener un costo. Si existe competencia entre las nuevas adquisiciones culturales y las más viejas en términos evolutivos, ¿es posible que al aprender a leer perdamos algunas de nuestras capacidades?
3. *La adquisición de la lectura.* Este modelo también predice que la facilidad con que los niños aprenden a leer puede depender de la cantidad de reciclaje neuronal necesario, y de la forma en que los métodos de enseñanza se ajustan a la estructura de nuestras redes neuronales.

Los rasgos universales de los sistemas de escritura

“Hagamos el sonido ‘sssh’ de una serpiente. ¿Será suficiente?” Y dibujó esto:



“Ahí está”, dijo. “Ese es otro secreto-sorpresa. Cuando dibujes una serpiente que silba al lado de la puerta de tu pequeña cueva negra,

donde ajustas los arpones, voy a saber que estás pensando mucho, y voy a entrar despacito como un ratón. Y si la dibujas en un árbol al lado del río cuando estás pescando, voy a saber que quieres que camine todavía más despacito que un ratón, para no hacer que la orilla se sacuda.”

“Esa es la pura verdad” dijo Tegumai. “Y en este juego hay más de lo que piensas. Taffy, querida, me parece que la hija de tu papá ha descubierto la mejor cosa que ha habido desde que la tribu de Tegumai comenzó a utilizar dientes de tiburón en lugar de sílex para la punta de sus lanzas. Creo que hemos descubierto el gran secreto del universo.”

Rudyard Kipling, “Cómo se creó el alfabeto”

No solemos preguntarnos cómo llegaron las letras a tener su forma actual. ¿Hay una historia como la de Kipling detrás de cada sistema de escritura? ¿Las formas de los caracteres individuales dependen sólo de la contingencia histórica, o sus rasgos universales reflejan la organización cerebral? A primera vista, la enorme diversidad de los sistemas de escritura del mundo parece ofrecer una respuesta fácil (figura 4.1). ¿Qué propiedades son comunes a la redondez de las formas de escritura indias, el rigor geométrico de las letras mayúsculas de los griegos, las curvas y puntos de la escritura árabe, y la diversidad de los caracteres chinos, cuyos simples trazos están confinados a un cuadrado virtual?

La hipótesis del reciclaje neuronal predice que la creatividad humana está atada a la arquitectura cerebral, una idea que se opone con claridad al relativismo cultural, que considera que las variaciones culturales son en esencia ilimitadas. Si hay alguna verdad en el reciclaje neuronal, nuestra constitución genética refrena drásticamente el conjunto de sistemas de escritura que pueden aprenderse. Esta predicción nos lleva a cuestionar la aparente falta de límites de la diversidad cultural. Al rasgar la cara externa de las variaciones culturales superficiales más obvias, deberíamos descubrir evidencia de estructuras profundas compartidas universalmente (Lévi-Strauss, 1958; Sperber, 1974; Chomsky, 1988; Brown, 1991).

Bajo esta nueva luz, la diversidad de los sistemas de escritura existentes merece análisis. Incluso una mirada somera revela que comparten una gran cantidad de rasgos:

- Todos dan a la fóvea de la retina una concentración de alta densidad de marcas contrastadas de negro sobre blanco. Este formato proba-

completas. Los caracteres chinos y los del kanji no son una excepción: incluso si hay varios miles de ellos, cada uno de los caracteres está compuesto de sólo dos, tres o cuatro formas básicas, que a su vez están conformadas por unos pocos trazos. Esta organización jerárquica se ajusta muy bien a la pirámide de áreas corticales de nuestro sistema visual. Las neuronas de la visión usan un principio combinatorio para codificar unidades de tamaño e invariabilidad crecientes.

- Todos los sistemas de escritura dan por sentado que la localización y el tamaño de los caracteres es irrelevante. Ninguna cultura siquiera les enseña este principio a los niños: todos nacen con mecanismos corticales para invariabilidad de traslación y tamaño. Sin embargo, eso no sucede en el caso de la rotación. Todos los sistemas de escritura imponen una orientación específica a la lectura. Este rasgo universal probablemente se deba a la percepción de los antiguos escribas de que la invariabilidad para la rotación es limitada. Como nuestras neuronas visuales sólo toleran cerca de 40° de rotación, nunca podríamos aprender a leer de forma eficiente, en todas las orientaciones, sin asignar primero un número prohibitivamente grande de neuronas a cada ángulo de visión más allá de los 40°.
- Todos los sistemas de escritura, por último, tienden a representar en conjunto el sonido y el significado. Es como si los antiguos escribas hubieran sido conscientes de que las conexiones de nuestra área de la caja de letras la convierten en un eje que proyecta la información de las formas tanto hacia las regiones temporales superiores que codifican los sonidos del habla como hacia las regiones temporales anterior y media, que codifican el significado. Privilegiar o no el sonido por sobre el significado es una de las fuentes más importantes de diferencias entre los sistemas de escritura (véase figura 2.20). En todos ellos, siempre hay alguna correlación estadística entre las marcas escritas y los sonidos del habla, pero el tamaño de la unidad del habla que se transcribe va de palabras completas (en chino o kanji japonés) a sílabas (en kana japonés), fonemas (en los sistemas de escritura alfabéticos), o incluso rasgos fonéticos aislados (en el caso de la escritura coreana hangul). La psicología del cerebro no regula este ámbito; la elección de la unidad del habla que debe representarse determina la cantidad de símbolos escritos y, por lo tanto, las complejidades de la adquisición de la lectura.

Una proporción áurea para los sistemas de escritura

Marc Changizi y Shinsuke Shimojo, colega suyo en Caltech, han emprendido un análisis cuidadoso de las regularidades interculturales en los sistemas de escritura del mundo. Estudiaron la organización visual detallada de cada carácter de un total de 115 sistemas de escritura de todos los estilos y todas las épocas. Su trabajo hasta volvió al pasado, para estudiar los caracteres del sistema “lineal B” de la antigua Creta y las añejas runas escandinavas, además del alfabeto etrusco y el Alfabeto Fonético Internacional (Changizi y Shimojo, 2005). El análisis reveló muchas regularidades insospechadas. Primero, como se ve claramente en la figura 4.1, la mayoría de los caracteres están compuestos de aproximadamente tres trazos (curvas que pueden trazarse sin siquiera levantar o detener la pluma). La variabilidad alrededor de esta media es bastante baja: nuestras mayúsculas, por ejemplo, tienen ya sea un trazo (C, I, J, O, S, U), dos trazos (D, G, L, P, Q, T, V, X), tres trazos (A, B, F, H, K, N, R, Y, Z), o cuatro trazos (E, M, W, Ñ), pero nunca más de eso. Cuando un sistema de escritura requiere más signos –como el etrusco, que tenía veintitrés letras, o el Alfabeto Fonético Internacional, que tiene ciento setenta– se crean nuevos signos mediante la invención de trazos más básicos para que la media ronde los tres trazos para cada uno de los caracteres. El Alfabeto Fonético Internacional, por ejemplo, utiliza caracteres como ϵ , ε , η , ω , \int y \mathfrak{u} . Si bien pueden parecer nos exóticos, no son tanto más complicados que nuestras letras. Simplemente están formados a partir de un conjunto distinto de curvas primitivas.

Me gustaría proponer que nuestros antepasados eligieron la fórmula mágica de tres trazos porque esta se corresponde con la forma en que el campo receptivo de las neuronas aumenta a través de la jerarquía de áreas visuales. Como vimos en el capítulo 3, el campo receptivo crece multiplicándose por dos o por tres en cada escalón de la pirámide cortical. Además, el tamaño, la complejidad y la invariabilidad de las unidades visuales codificadas también aumentan, en igual proporción. En todos los sistemas de escritura, en todo el mundo, los caracteres parecen haber evolucionado a una combinación casi óptima que una sola neurona puede captar con mucha facilidad, gracias a la convergencia de información de entrada de dos, tres o cuatro tipos de neuronas detectoras de curvas en un nivel inmediatamente anterior en la pirámide.

Dado que este esquema se replica en todos los niveles del sistema visual, sería tentador extender el análisis de Changizi y Shimojo a otros niveles de la jerarquía cortical. En un punto más bajo en el sistema vi-

sual, parecería plausible que de por sí cada trazo consistiera en una conjunción de dos, tres o cuatro segmentos de líneas. Un paso más arriba, en nuestras lenguas alfabéticas, las unidades multiletas como las raíces de las palabras, los prefijos, los sufijos y las terminaciones gramaticales casi siempre tienen dos, tres o cuatro caracteres de longitud. Del mismo modo, en el idioma chino la mayoría de los caracteres consiste en una combinación de dos, tres o cuatro subunidades fonéticas y semánticas. Visualmente hablando, todos los sistemas de escritura parecen depender de una pirámide de formas cuya sección áurea es 3 ± 1 .

Signos artificiales y formas naturales

Marc Changizi descubrió también un segundo rasgo importante que es común a todos los sistemas de escritura del mundo. En todos ellos, las disposiciones o configuraciones de los trazos individuales tienden a ser los mismos. Su frecuencia sigue una distribución universal que está en un paralelo cercano con la de los rasgos de los escenarios naturales (Changizi, Zhang, Ye y Shimojo, 2006).

Para entender la ley de Changizi, debemos observar cómo los trazos de una pluma se encuentran para formar diferentes caracteres. Si soslayamos la orientación, dos rasgos siempre forman una T, una L o una X. Tres rasgos pueden formar muchas configuraciones como F, K, Y, Δ ... Changizi propuso contemplar estas formas sólo desde un punto de vista topológico, sin tener en cuenta la rotación o la distorsión. Por tanto, simplemente contó cuántas veces cada una de ellas aparecía en una página: ¿hay más Δ o más Y? Surgió una regularidad interesante: en todos los sistemas de escritura, la frecuencia con la cual se observaron las diferentes configuraciones fue una constante (véase figura 4.2). Por ejemplo, las formas de L y de T siempre aparecían con más frecuencia, seguidas por una X y una F, que a la vez eran más comunes que Y o Δ .

Esta distribución universal de los signos no es una cuestión de suerte. Si arrojamos palillos aleatoriamente al suelo, sus intersecciones no obedecen la ley de Changizi acerca de la frecuencia: las X, por ejemplo, son tanto más comunes que las L y las T, a diferencia de lo que se ve en la escritura.

Es sorprendente, sin embargo, que la distribución de Changizi se replica cuando uno computa qué tan a menudo aparecen estas formas en el mundo natural. Cuando los objetos se tocan, se superponen o se esconden unos a los otros, sus siluetas suelen llegar a configuraciones

como T y L. Las X no son tan frecuentes, a menos que una ramita cruce una rama o una línea. Es todavía más infrecuente encontrar tres líneas que formen una Δ . Al promediar el número de configuraciones en cientos de imágenes, este correlaciona muy bien con la distribución universal de los símbolos escritos (figura 4.2).

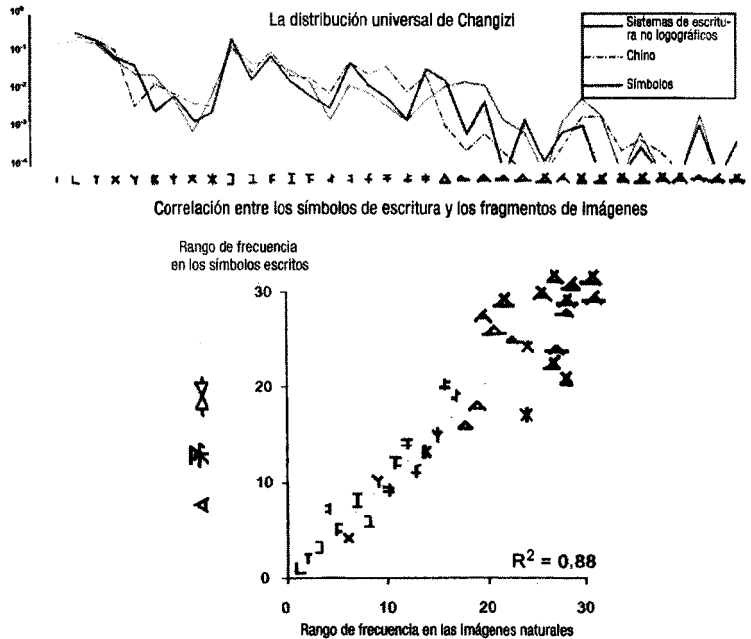


Figura 4.2. Todos los sistemas de escritura, ya sean alfabéticos, silábicos o logográficos, reposan sobre un pequeño conjunto de configuraciones cuyas frecuencias dibujan una curva universal (arriba). Las configuraciones más frecuentes son también aquellas que se repiten con mayor frecuencia en las imágenes naturales (abajo), muchas de las cuales tienden a ser codificadas por las neuronas temporales inferiores (según Changizi y otros, 2006).

En resumen, sea a partir de un diseño o gracias a una intuición extraordinaria, los primeros escribas parecen haber sido conscientes, desde el comienzo, de que las formas que eligieran debían ser las más fáciles de leer. En cualquier lugar del planeta, parecen haberse decidido por caracteres cuyas formas se parecen a las que se encuentran en el entorno; por esto, nuestros cerebros las representan sin dificultad. Esta extraordinaria

regularidad se condice muy bien con la predicción de la hipótesis del reciclaje neuronal. Todas las culturas seleccionan signos cuyo aprendizaje requiere el mínimo cambio cortical. A lo largo de la evolución, al igual que en los primeros años de la vida, nuestras neuronas se ajustaron de forma muy refinada a las configuraciones características del ambiente. Más tarde, la escritura siguió el mismo camino. Cada vez que se inventa un nuevo sistema, converge a partir de ensayo y error en las formas características de las “protoletras” que ya están codificadas en la profundidad de la corteza visual de los primates.⁴⁰

En conjunto, el análisis de los sistemas de escritura subraya el hecho de que la forma de las letras no es una opción cultural arbitraria. El cerebro constriñe el diseño de un sistema de escritura eficiente de manera tan severa que hay poco lugar para el relativismo cultural. Nuestro cerebro de primates sólo acepta un conjunto limitado de formas escritas.

Precusores prehistóricos de la escritura

¿Cómo descubrió la humanidad que su sistema visual podía reciclarse para codificar el habla mediante la escritura? A pesar de que, en este libro, no podemos ahondar en la paleoantropología y la historia de la escritura, es interesante hacer un resumen de cómo se desarrolló este invento extraordinario. De hecho, la hipótesis del reciclaje neuronal ayuda a comprender acaso un poco mejor la serie de turbulencias mentales que el descubrimiento de la escritura debió de causar.

Las pinturas rupestres más antiguas –por ejemplo, en la cueva de Chauvet, en el sur de Francia, de hace 33 000 años– ya dan muestra de formas gráficas sofisticadas. Los primeros *Homo sapiens* descubrieron muy temprano que podían evocar la imagen reconocible de un objeto

40 Sin duda, las restricciones motoras también ejercieron una fuerte presión selectiva sobre la evolución de la escritura. Sin embargo, varios argumentos sugieren que las regularidades que descubrió Marc Changizi están ligadas a la facilitación de la lectura más que de la escritura (Changizi y Shimojo, 2005; Changizi y otros, 2006). En especial, las mismas regularidades se encuentran también en las fuentes de las computadoras y en los logos de las compañías más importantes, dos categorías de símbolos en los cuales la facilidad de la escritura no puede ser un problema. A la inversa, no se encuentran en las formas de los caracteres manuscritos, cuyas curvas obedecen a estadísticas cualitativamente diferentes.

o un animal a través de unos pocos trazos en un hueso, en arcilla, en un acantilado o en la pared de una cueva, y que era suficiente dibujar los contornos más importantes.

Este descubrimiento puede parecer insignificante; sin embargo, debe haber tenido una actuación esencial en la invención de la escritura. Descarta la necesidad de una reproducción laboriosa de la forma en tres dimensiones, o de una reproducción cuidadosa de su superficie en dos dimensiones (aunque nuestros ancestros también fueron rápidos para descubrir las formas del arte que actualmente conocemos como escultura y pintura). Unos pocos trazos alcanzaron para bosquejar un contorno que incluso el ojo no entrenado reconocía instantáneamente como un bisonte o un caballo. Por mi parte, veo en este invento lo que puede haber sido la primera manipulación humana intencional de su sistema nervioso. La mayoría de las células ganglionares de la retina son insensibles a superficies grandes con un color homogéneo. Prefieren dispararse en respuesta al contorno de los objetos, y responden de modo bastante similar sin que importe si este contorno es una sola línea (como en un dibujo) o la unión de dos superficies (como en una escena de la vida real). El dibujo sólo funciona porque tenemos células que están dotadas de esta propiedad. Con los grabados y los dibujos, la humanidad inventó la primera forma de autoestimulación neuronal.

Una tradición muy antigua especula que la escritura comenzó con la representación pictórica de las formas naturales. Esta perspectiva ya era popular en el siglo XVIII, como lo demuestra el artículo "Escritura" en la enciclopedia de Diderot y d'Alembert:

Esta manera de comunicar nuestras ideas mediante marcas y figuras consistía inicialmente en dibujar al natural las imágenes de las cosas; así, para expresar la idea de un hombre o de un caballo, uno representaba la forma de uno o del otro. El primer intento de *escritura* fue, como podemos ver, una simple pintura: sabíamos pintar antes de saber escribir.

La evidencia arqueológica, sin embargo, contradice esta idea simple. En la mayoría de las cuevas pintadas, los dibujos de animales conviven con un rico conjunto de formas no figurativas: series de puntos, líneas paralelas, tableros de ajedrez, curvas abstractas... Contra las intuiciones de Diderot y d'Alembert, el simbolismo parece ser tan antiguo como el arte mismo. Los contornos de estos primeros símbolos a veces se parecen a nuestras letras: sería fascinante ver si siguen la distribución universal de Changizi.

Del mismo período son los huesos paleolíticos que están grabados con series de líneas. Estas marcas de cálculos servían probablemente como dispositivos elementales de calendario o para hacer cuentas. Este tipo de símbolos, incluso si no podemos decodificarlos, nos muestran que los hombres y mujeres que los dibujaron no eran diferentes de nosotros. Eran *Homo sapiens* y, teniendo cerebros preparados para el lenguaje como los nuestros, no había una razón por la que no pudieran intentar expresar mediante la escritura sus ideas abstractas.

Entre los muchos precursores de la escritura también figuran las manos pintadas que abundan en un número de cuevas prehistóricas. En algunos casos, por extraño que pudiese resultar, faltan algunos dedos. Las interpretaciones han ido desde la automutilación a la enfermedad. En mi opinión, como interpretación, pese a todo es más probable que los dedos estuviesen doblados para indicar algún tipo de código simbólico. Algunas configuraciones de dedos se repiten con más frecuencia y coinciden con la distribución de las especies animales pintadas en las mismas paredes de las cavernas (Leroi-Gourhan, 1983; Calvet, 1998). Estas pinturas pueden, por lo tanto, representar una lengua de señas rudimentaria utilizada por los cazadores para indicar silenciosamente número, índole y movimientos de su presa. Los cazadores-recolectores de hoy en día todavía dependen de signos similares para evitar alertar a sus presas. Si bien puede parecer increíble, las manos que están en las paredes de las cuevas acaso resulten testimonio de la presencia, en ciertas sociedades prehistóricas, de un avanzado sistema de símbolos de dos niveles: primero, la asociación entre una posición arbitraria de la mano y objetos o acciones, y más tarde su fijación permanente gracias a la pintura.

De contar a escribir

En *El gesto y la palabra*, André Leroi-Gourhan destacó lo importante que debieron de ser la lengua y la tradición oral en la “lectura” del arte de las cavernas:

El arte figurativo está, en su origen, directamente ligado al lenguaje y tanto más cerca aún de la escritura, en sentido muy lato, que de la obra de arte. Es la trasposición simbólica, no la calcomanía de la realidad [...]. Para el signo como para la palabra, lo abstracto corresponde a una paulatina adaptación del dispositivo motor de expresión a unas

solicitaciones cerebrales cada vez más matizadas. De suerte que las antiguas figuras conocidas no representan escenas de cacerías o animales moribundos o enternecedoras escenas de familia sino claves gráficas sin conexión descriptiva, soportes de un contexto oral irremediabilmente perdido [...]. Son, en realidad, “mitogramas”, algo que se emparenta más con la pictografía que con el arte descriptivo [...]. Bajo esta forma, la ideografía es anterior a la pictografía y el arte paleolítico en conjunto es ideográfico.

Agrega esta nota esencial:

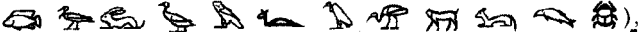
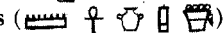
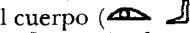


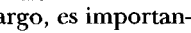
Es fácil concebir un sistema que alinea tres trazos y el dibujo de un buey, siete trazos y el de un saco de grano. En este caso, la fonetización es espontánea y la lectura estrictamente inevitable. Acaso sea la única forma de pictografía que haya existido en el origen de la escritura. Apenas nacida, no pudo más que confluir inmediatamente con el sistema ideográfico preexistente (Leroi-Gourhan, 1993: 190-191 [199-201 de la ed. cast.]).

Corroborando la afirmación de Leroi-Gourhan, en la Mesopotamia (el actual Irak), el lugar donde nació la escritura, los símbolos numéricos cumplieron un rol esencial en el surgimiento del código escrito (Schmandt-Besserat, 1996). En muchos sitios fechados hacia el año 8000 a.C., la excavación arqueológica sacó a la luz pequeños objetos de arcilla que tenían formas abstractas de conos, cilindros, esferas, semiesferas y tetraedros. De acuerdo con Denise Schmandt-Besserat, son “*calculi*”, pequeños marcadores utilizados para contar y calcular. Algunos representan unidades, otros representan múltiplos de las bases aritméticas 10 y 60 (10, 60, 600, 3600...). Un sistema de contabilidad sofisticado se utilizó en Medio Oriente durante un extenso período de al menos cinco mil años que van desde el año 8000 hasta el 3000 a.C. En la ciudad de Susa, en algún momento cercano a 3300 a.C., apareció una intrigante forma transitoria con los *calculi* ubicados dentro de envoltorios de arcilla huecos que presentaban muescas de diferentes tipos. La forma y el número de estas muescas solían coincidir con los de los *calculi* que se encontraban dentro, lo que constituye una notación simbólica de los números hecha y derecha. Poco a poco, los contenidos del envoltorio, que sólo servían como prueba de la precisión de las cuentas, desaparecieron, mientras que la notación quedó. Tallar una marca numérica seguida de un retrato simbólico del objeto era sufi-

ciente para garantizar la transmisión de un mensaje (“veinte cabras”). Y así fue como nació la idea de la escritura.

Las cuentas también tuvieron un papel en el nacimiento de un sistema de escritura independiente en la Sudamérica precolombina. Aquí, el cálculo de los ciclos de tiempo en un sistema de calendario sirvió como incentivo principal. Ya en 2000 a.C., los olmecas utilizaban símbolos tallados –los glifos– para representar unidades de tiempo, como días, años y otros ciclos rituales importantes. La cultura zapoteca, alrededor del año 600 a.C., extendió el sistema utilizando signos para las fechas, los lugares y las personalidades destacadas que estaban involucradas en los acontecimientos históricos.

En pocas palabras, como sospechaba André Leroi-Gourhan, la codificación de ideas abstractas como los números o el tiempo tuvo un papel esencial en el nacimiento de la escritura. Quizá también contribuyeron a la idea misma de que los conceptos podían ponerse por escrito. Los primeros símbolos fueron a menudo formas geométricas vacías de cualquier contenido pictórico. Sólo daban acceso a un pequeño léxico visual. En la antigua Sumeria y el antiguo Egipto apareció la pictografía, al menos transitoriamente, como una forma sencilla de enriquecer el léxico de las formas escritas. Su mayor ventaja consistía en que era fácil de leer. No hacía falta un escriba para explicar que el dibujo de una espiga de trigo era el símbolo de la cosecha.

Resulta divertido observar que los signos de los primeros registros de escritura utilizaban una gama completa de formas que, como luego descubrieron los fisiólogos, son codificadas por neuronas específicas en la corteza visual del primate. Antes de converger en el área de la caja de letras, que es la localización cortical que mejor puede vincular las formas visuales con el lenguaje, la evolución cultural parece haber explorado sistemáticamente el espacio de formas posibles codificadas en la corteza visual. Los jeroglíficos egipcios pueden verse como un catálogo de estímulos capaces de activar el mosaico de regiones corticales ventrales: animales () objetos y herramientas () partes del cuerpo () e incluso () posturas corporales () y simples formas geométricas ().⁴¹ Sin embargo, es importan-

41 Las imágenes cerebrales han demostrado recientemente que ver cuerpos y sus configuraciones activa una región específica de la corteza occipital (Downing y otros, 2001).

te tener en cuenta que los primeros escribas evitaron espontáneamente dos categorías de representaciones visuales que están bien representadas en la corteza. La primera es la categoría de lugares, casas y paisajes. Sólo algunos jeroglíficos se refieren a lugares, y sólo de una forma muy estilizada que no logra evocar sentido alguno de espacio o profundidad (□ ▲).

La otra categoría poco explotada es la de los rostros: sólo la escritura maya contaba con una variedad de “caras y muecas” que denotaban sílabas:



En la superficie cortical, los lugares y los rostros ocupan áreas extensas y bien separadas, pero ambas están muy lejos del área de la caja de letras, situada en el hemisferio izquierdo. El área de los lugares, presente en ambos hemisferios, está cerca de la línea media del cerebro, mientras que el área de los rostros está situada principalmente en el hemisferio derecho, es decir que está muy lejos de la localización del lenguaje en el hemisferio izquierdo. ¿Los primeros escribas descubrieron espontáneamente que estas dos categorías no podían tener una conexión eficiente con las áreas del lenguaje? El hecho de que los rostros estén prácticamente ausentes entre los símbolos escritos podría tomarse como otra prueba indirecta de que la arquitectura cerebral restringió la evolución de la escritura.

Los límites de la pictografía


En su *Enéada quinta*, al comentar el *Fedro* de Platón (que yo cité en el epígrafe de este capítulo), el filósofo Plotino (205-270 d.C.) daba muestras de su ilimitada admiración por la escritura egipcia:

Los sabios de Egipto, [...] respecto a las cosas que quieren mostrar con sabiduría, no se valen de tipos de letras que se desenvuelven en discursos y en proposiciones, representando a la vez sonidos y palabras, sino que dibujan imágenes, cada una de las cuales se refiere a una cosa distinta. Estas imágenes son grabadas en los templos para dar a conocer el detalle de cada cosa, de modo que cada uno de los signos constituye una ciencia y una sabiduría.

Desgraciadamente, Plotino estaba equivocado. Si los jeroglíficos, como un dibujo animado, verdaderamente hubieran dado acceso directo al significado, no habríamos tenido que esperar a que el egiptólogo francés Jean-François Champollion los descifrara. El concepto de un sistema pictográfico universal que los hombres y las mujeres de todas las culturas pudieran comprender sin entrenamiento es utópico. En la evolución de la escritura, la etapa pictográfica fue tan breve que uno puede incluso preguntarse si de verdad existió. Desde el principio, la escritura se utilizó para expresar ideas abstractas. Para este propósito, adoptó una gran cantidad de convenciones arbitrarias que requerían mucho aprendizaje. Como resultado, la escritura y la lectura fueron rápidamente reservadas a una elite.

Los primeros escribas se enfrentaron con varios problemas concretos. El primero consistió en escribir tan rápido como fuera posible. En las tumbas de algunos egipcios ricos, los jeroglíficos eran esculturas sorprendentemente detalladas, que incluían retratos magníficos de especies de pájaros y de flores. Para el uso cotidiano, sin embargo, crear estas obras de arte era demasiado lento. Se presentó rápidamente un sistema de escritura más rápido y simplificado, que hoy en día se conoce como “demótico” (literalmente, la escritura del pueblo). En todos los países en que la escritura ya se había generalizado, la estilización produjo un rápido desplazamiento que la apartó de la pictografía y la llevó hacia un conjunto más sencillo de caracteres simbólicos convencionales.

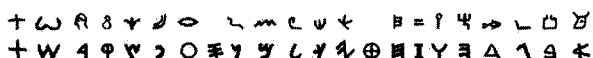
Las formas de escritura que se adoptaron dependían en parte de los materiales disponibles. Los sumerios escribían en suaves tablas de arcilla con un punzón de junco, muy afilado. La única forma que podían producir con facilidad era la de una cuña (*cuneus*, en latín). Su escritura, hecha de diferentes disposiciones de esta forma de cuña básica, evolucionó en la escritura “cuneiforme”. Al disponer las cuñas de diferentes modos, crearon docenas de caracteres tan estilizados que el pictograma inicial se volvió irreconocible (figura 4.3). El símbolo de una extensión de agua, por ejemplo, era en un principio el gráfico de dos olas paralelas. En la escritura cuneiforme, se volvió una cuña grande y dos más pequeñas, pura convención que cada escriba debía almacenar en su memoria.

El idioma chino siguió un rumbo similar. En las inscripciones más antiguas que se conocen, pertenecientes a la dinastía Shang (1000 a.C.), los caracteres se grababan en huesos o caparazones de tortuga para la adivinación oracular. El correspondiente a “caballo” se parecía al noble cuadrúpedo: . Sin embargo, rápidamente apareció la estilización.

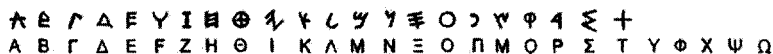
De la pictografía a los primeros caracteres cuneiformes



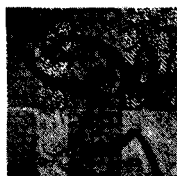
Del protosinaítico al fenicio: los jeroglíficos dan lugar a un conjunto limitado de letras



Del fenicio al griego: la rotación de letras y la aparición de las vocales



Lascaux



Protosinaítico



Fenicio



Griego / latín



Figura 4.3. La convención y la simplificación son dos factores esenciales en la evolución de la escritura. En sumerio (arriba), los primeros caracteres convencionales, cuyos orígenes pictográficos son obvios, evolucionaron rápidamente para convertirse en símbolos abstractos, en gran parte porque tenían que ser trazados con punzones sobre arcilla suave. De modo similar, la escritura protosinaítica (medio) adoptó un pequeño conjunto de imágenes convencionales para representar las consonantes del idioma semítico. Cuando los fenicios y los griegos las adoptaron, estas formas se simplificaron aún más y rotaron 90 o 180°, bajo la influencia de cambios en la dirección de la escritura. En última instancia se convirtieron en las letras de nuestro alfabeto. Cada una de ellas, como la letra A (abajo), puede verse como el resultado final de una evolución cultural que tendió hacia una mayor simplicidad, aunque en todo momento preservó una forma de base que nuestras neuronas temporales inferiores podían reconocer sin dificultad. *Utilizado con permiso de Robert Fradkin.*

¿Quién podría darse cuenta de que hay un caballo detrás del carácter actual, 馬, que convergió en su forma final ya en el siglo III y luego se simplificó aún más en la forma 马? Actualmente se estima que sólo el 2% de los caracteres chinos incluye un contenido pictográfico reconocible (DeFrancis, 1989).

La estilización que subyace a todos los sistemas de escritura existentes es la raíz de la ortografía, que significa, literalmente “dibujo correcto”. Mientras la escritura se basó sobre dibujar una imagen reconocible, su forma exacta podía variar. Una vez que los símbolos escritos se volvieron objeto de convención, sólo había una manera de escribirlos correctamente, o una sola “ortografía”.

Un segundo factor para que la escritura se apartase de la pictografía fue el problema de dibujar las imágenes de ideas abstractas. Posiblemente ninguna imagen lograra retratar libertad, amo y esclavo, victoria o dios. A menudo, una asociación de ideas daba en la tecla. En la escritura cuneiforme, una divinidad era una estrella; un huevo junto a un pájaro valía por dar a luz; el perfil de un rostro cuya boca tocaba un cuenco significaba una ración de comida. Desgraciadamente, a pesar de que eran muy ingeniosas, estas convenciones sólo tenían significado para el ojo entrenado; la conexión directa de la imagen con el significado se perdía.

Otro truco consistía en explotar la similitud entre algunos sonidos para dibujar lo que eran esencialmente juegos de palabras visuales. Los historiadores lo conocen como el principio *pro rebus*, o simplemente *rebus*. Supone la utilización de un pictograma para representar un sonido silábico. Este procedimiento convierte los pictogramas en fonogramas. Para los escribas sumerios, la palabra para “vida”, que se pronunciaba *til*, se ilustraba con una flecha, que se pronunciaba *ti* (Coulmas, 1989: 78). Este tipo de transcripción del significado paulatinamente dio lugar a la escritura de sonidos. En sumerio, el dibujo de una planta, que se pronunciaba *mu*, se utilizó en un principio para denotar *mu*, un año, luego *mu*, un sustantivo, y luego palabras gramaticales como el posesivo *mu* = “mío”. Finalmente se volvió el signo convencional para cualquier sílaba *mu*, incluso cuando aparecía dentro de otra palabra.

Con el principio *rebus*, los sumerios y los egipcios crearon gradualmente un conjunto de símbolos que podían transcribir cualquier sonido de sus lenguas. De hecho, un subconjunto de los caracteres jeroglíficos forma lo que se llamó tradicionalmente, de forma no apropiada, el alfabeto jeroglífico: unas pocas docenas de caracteres que representan todas las consonantes del egipcio antiguo. Este sistema se utilizó para

transcribir los sustantivos propios como “Aléxandros” o “Cleopatra”. Su misma sencillez permitió a Champollion descifrar el código jeroglífico. De forma similar, los sumerios utilizaban un conjunto mayor de caracteres para representar todas sus sílabas. Inventaron un signo cuneiforme para cada combinación posible de una vocal [V] o de una vocal rodeada por consonantes [CV, VC, o CVC].

Por tanto, los egipcios y los sumerios se acercaron mucho al principio alfabético, pero ninguna de esas dos culturas logró extraer este tesoro de sus pretenciosos sistemas de escritura. La estrategia *rebus* les habría permitido escribir una palabra o una oración con un conjunto compacto de signos fonéticos, pero continuaron complementándolos con un vasto conjunto de pictogramas. Esta desafortunada mezcla de dos sistemas, uno basado principalmente sobre el sonido, el otro sobre el significado, creó una ambigüedad considerable. Por ejemplo, al ver la imagen de una estrella era imposible darse cuenta de si el escriba quería decir “Dios”, “estrella” o meramente el sonido correspondiente. En retrospectiva, está claro que los escribas podrían haber simplificado en gran medida su sistema eligiendo quedarse sólo con los sonidos del habla. Por desgracia, la evolución cultural sufre de inercia y no toma decisiones racionales. Así, tanto los egipcios como los sumerios simplemente siguieron la tendencia natural de creciente complejidad. Durante cientos de años, más que simplificar sus sistemas de escritura, ambas civilizaciones trataron de eliminar las ambigüedades agregando un número creciente de caracteres. La notación cuneiforme agregó ideogramas determinativos para esclarecer el concepto de los signos que acompañaban. Cada uno marcaba las categorías semánticas de las palabras: ciudad, hombre, piedra, madera, Dios, y así sucesivamente. Por ejemplo, el símbolo para “arado”, acompañado por el determinante “madera”, significaba la herramienta agrícola. Ese mismo símbolo, con el determinante “hombre”, hacía referencia a labrador. Los determinantes también ayudaban a especificar los significados de las palabras escritas en notación silábica, un truco útil dado que cualquier sílaba dada correspondía con frecuencia a varias palabras homófonas (de forma muy similar a “mi” y “mí”).

Es sorprendente que la escritura egipcia haya adoptado una solución casi idéntica. Los jeroglíficos incluían un sistema sofisticado de determinantes para categorías como hombre, agua, fuego, planta, acción e incluso “concepto abstracto”. En este elaborado esquema, una palabra terminaba por representarse mediante una mezcla de tres claves: el sonido, la categoría y el significado explícito. Por ejemplo, el verbo “salir”, que se pronunciaba *pr*, se escribía con no menos de tres signos:

- Una casa, que también se pronunciaba *pr*, servía como elemento fonético.
- Una boca, que se pronunciaba *r*, servía como suplemento fonético. Confirmaba que el símbolo de casa debía leerse por su pronunciación y no por su significado.
- Por último, un par de piernas servía como determinante que expresaba la idea de movimiento (Zali y Berthier, comps., 1997: 38).

Una lógica muy similar gobernó la evolución de los caracteres chinos. Estos también están compuestos por subunidades que incluyen tanto significado como marcadores fonéticos. Por ejemplo, el carácter para “luz del sol”, que se pronuncia *qing*, está formado a partir de los caracteres de “sol” y de “verde”. El primero es un marcador semántico obvio, mientras que el segundo, que se pronuncia *qing*, indica la pronunciación correcta.

Aunque todas estas combinaciones pictóricas son muy elaboradas, no son tanto más complicadas que la lógica que en idioma inglés lleva a distinguir “cellar” y “seller”, “I” y “eye”, o “but” y “butt”. Los lectores de esta lengua también dependemos de convenciones de la escritura que involucran una mezcla de morfemas y fonemas. La ortografía del inglés puede parecer complicada, pero de hecho esclarece las ambigüedades de la notación fonética. Usa formas escritas especiales para diferentes significados de palabras que suenan del mismo modo, como “lessen” y “lesson”, “pea” y “pee” o “horse” y “hoarse”. En “board” versus “bored”, la terminación “-ed” actúa como una etiqueta del participio pasado, de modo muy similar a los marcadores que se utilizaban en el egipcio antiguo o en la escritura cuneiforme.

En resumen, distintas culturas adoptaron de modo independiente un sistema de escritura mixto que combinaba significado y sonido. ¿Pero por qué los sistemas de escritura mixtos parecen constituir atractores estables para las sociedades en todo el mundo? El motivo para esto probablemente resida en las encrucijadas de múltiples restricciones: la forma en que se estructura nuestra memoria, en que se organiza el lenguaje, y la disponibilidad de determinadas conexiones cerebrales. Nuestra memoria está pobremente equipada para la escritura puramente pictográfica o logográfica, en la que cada palabra tiene su propio símbolo. Sería imposible para nosotros memorizar un signo distinto para cada una de las 50 000 palabras de nuestro léxico. La mera notación de sonidos sería también poco satisfactoria. La mayoría de las lenguas incluye tantos homófonos –como “cabo” y “cavo”– que un sistema de escritura pura-

mente fonológico tendría ambigüedades muy serias. La lectura sería comparable a decodificar un *pro rebus*: res sul taría de más si a do y ne fis y ente. Un sistema mixto que utilice fragmentos tanto del sonido como del significado parece ser la mejor solución.

El sistema de escritura mixto también tiene la gran ventaja de estar particularmente bien adaptado a la conectividad del área de la caja de letras. Al proyectar tanto a la región temporal media como a la región frontal para codificar el significado de las palabras, y a las áreas temporal superior y frontal inferior involucradas en el análisis auditivo y la articulación, esta región probablemente desempeñe un papel crucial en la distribución de los fragmentos fonológicos y semánticos de información presentes en la escritura. Si esta conectividad no preexistiera en todos los seres humanos, nuestros ancestros sumerios y egipcios probablemente habrían tenido que inventar un código visual muy diferente.

El alfabeto: un gran paso hacia delante

Desde su comienzo en la Mesopotamia, el “virus” de la escritura se esparció con velocidad a las culturas cercanas. El terreno fértil que encontró en el cerebro humano indudablemente lo ayudó mucho. La epidemia, sin embargo, todavía estaba confinada, en todas las sociedades, a un pequeño grupo de especialistas. La complejidad de este invento moderaba su capacidad de expandirse. Algunas estimaciones sostienen que los sumerios en un momento utilizaban novecientos signos, un número que luego cayó paulatinamente a quinientos, a medida que la pictografía dejó cada vez más lugar a la escritura silábica. En Egipto también la educación de un escriba suponía aprender un total de aproximadamente setecientos signos. Incluso en la China actual, los académicos deben aprender varios miles de signos. Hace sólo sesenta años, la tasa de analfabetismo en la población china adulta rondaba el 80%; una simplificación radical y una inversión masiva en educación hizo que este número cayera a aproximadamente el 10%.

Antes de que el virus de la escritura se volviera pandémico, tenía que mutar. Del mismo modo que la evolución biológica, esta mutación –el principio alfabético– probablemente emergió en pequeños grupos de personas periféricos a los grupos principales de la sociedad. Los primeros rastros de un sistema alfabético, llamado protosinaítico, datan del año 1700 a.C. y se descubrieron en la península del Sinaí, cerca de las minas de turquesa que los faraones de los imperios Medio y Nuevo ex-

plotaron por primera vez. Este sistema de escritura tomó prestadas las formas de varios caracteres egipcios, pero las usó para representar una lengua semítica. Los signos ya no referían al significado, sino a los sonidos del habla por sí solos, y de hecho únicamente a las consonantes. De esta forma, el inventario de símbolos escritos se redujo de forma drástica: dos docenas de signos eran suficientes para representar todos los sonidos del habla existentes con una regularidad perfecta.

Las semillas de la escritura alfabética germinaron porque los escribas estaban escribiendo una nueva lengua. Esto les permitió deshacerse de las viejas reglas y converger en una transcripción racionalizada. Por supuesto, tomaban inspiración en los sistemas egipcio y cuneiforme, que les resultaban cercanos; pero tenían una oportunidad única de eliminar los percances históricos, extraer los principios esenciales y destilarlos para llegar a su forma más simple. Por fin, abandonaron la escritura ideográfica y se concentraron exclusivamente en la notación abstracta de sonidos del habla y raíces de palabras.⁴²

La nueva lengua de los escribas pertenecía a la familia semítica, que hoy incluye el árabe, el amhárico y el hebreo. La morfología de estas lenguas es peculiar porque enfatiza las consonantes. No hay dudas de que este rasgo ayudó a la invención del alfabeto. En las lenguas semíticas, las raíces de muchas palabras consisten en una red constante de consonantes entre las cuales pueden variar las vocales. En el hebreo, por ejemplo, la raíz *gdl*, que expresa el significado general de “grande”, puede declinarse como *gadol*, “grande” (masculino); *gdola*, “grande” (femenino); *giddeh*, “subir”; *gadal*, “crecer”; *higdil*, “agrandar”; y así sucesivamente. Los inventores de la escritura protosinaítica sacaron provecho a esta peculiaridad. Comprendieron que lo único que debían hacer era representar la red de consonantes abstractas. Su lengua no requería un gran inventario de signos para cada sílaba posible; el lector podía captar

42 En Corea ocurrió un fenómeno similar cuando el rey Sejong expresó su insatisfacción con los caracteres chinos, que juzgó inapropiados para la lengua coreana: “Como nuestra lengua es diferente de la lengua china”, dijo, “mi pobre gente no puede expresar sus pensamientos por medio de la escritura china. Como me compadezco de ellos, creo veintiocho letras que todos pueden aprender con facilidad y utilizar en su vida diaria”. De esta forma nació la escritura hangul en 1446. Hoy en día, casi seis siglos después, veinticuatro de estas veintiocho letras todavía se utilizan. Su combinación racional de principios fonéticos, alfabéticos y silábicos la vuelve uno de los sistemas de escritura más elegantes de la tierra (Coulmas, 1989: 118-122).

un mensaje simplemente buscando entre las dos docenas de formas que se encontraban en el léxico de consonantes.

La elección de una forma para cada consonante también estuvo guiada por una idea muy simple y mnemónica: cada forma hacía referencia a una palabra que comenzaba con la consonante correspondiente. Esta astuta idea se conoce como el principio acrofónico (literalmente “utilizar el sonido que se encuentra en uno de los extremos”). Entonces, la consonante *b* se representaba con la silueta de una casa, que se llama *beth* en la mayoría de las lenguas semíticas. Le dio su nombre a la letra beta en griego. Del mismo modo, la oclusiva glotal, una consonante que es única en las lenguas semíticas, que está al principio de la palabra ‘*aleph* (buey) se representaba en la escritura protosinaítica mediante la cabeza de un buey. Esta forma, estilizada y rotada, se convirtió en la letra alfa (α) en el alfabeto griego, y luego en nuestra propia letra A. Si damos vuelta una A mayúscula, será fácil reconocer la cabeza y los dos cuernos del buey original. El principio acrofónico es la única razón por la que las letras griegas tienen nombres curiosos (alfa, beta, gama, delta...). En realidad, proceden de una distorsión de los nombres semíticos de las dos docenas de imágenes que les dieron a nuestras letras su forma, su nombre y la pronunciación de su primera consonante.

Cada una de las letras que usamos rutinariamente en nuestro alfabeto romano, entonces, contiene un pequeño dibujo escondido, que data de hace cuatro mil años. Una “m” simboliza olas (*mem* o *mawayyuma*), una “n” es una serpiente (*nahašū*), una “l” un agujón (*lamd*), una “k” una mano con los dedos extendidos (*kaf*), una “R” una cabeza (*res*)... Me gusta pensar que la evolución cultural recorrió el mismo camino que el neurofisiólogo Keiji Tanaka: ambos tallaron sonidos hasta que sólo quedó su forma esencial (compárense las figuras 3.6 y 4.3). La escritura echó a andar desde los primeros dibujos realistas de las cabezas de bueyes en la cueva de Lascaux, hacia la escritura semítica que transformó estas cabezas en unos pocos trazos, y luego hacia los fenicios y los griegos, que las convirtieron en la A moderna. De manera prácticamente idéntica a aquella en que Tanaka simplificó las formas hasta alcanzar la más simple, que aun así estimulaba las neuronas visuales del mono, la escritura evolucionó gradualmente hacia un sistema simplificado que las neuronas de nuestra corteza temporal inferior todavía podían reconocer de inmediato. La evolución cultural, mediante ensayo y error, más una selección gradual a lo largo de varias generaciones, llegó a un pequeño inventario de formas de letras mínimas y universales. Si bien pueden variar de un país a otro, todas se originan en el mismo conjunto de rasgos

básicos presente en los escenarios naturales, que nuestro sistema visual capta con mayor facilidad.

Con la invención del alfabeto, la escritura se volvió más democrática. Ya no hacían falta años de aprendizaje para convertirse en un escriba. Cualquier persona con un grado razonable de motivación podía aprender a leer y a escribir un alfabeto de sólo unas veinte letras. La escritura y el alfabeto se extendieron velozmente en todo el mundo. En Ugarit, en la costa de Siria, lejos de su lugar de nacimiento, el principio alfabético se adaptó a la tecnología de la escritura sobre tabletas de arcilla. Se han encontrado inscripciones que datan del siglo XIII a.C.; estas utilizaban un alfabeto cuneiforme en el enclave de la antigua ciudad cananea. Este alfabeto era semítico. Dio lugar indirectamente a todos los alfabetos del mundo: primero el fenicio, que dio lugar al griego, al cirílico, al latín y probablemente a todos los sistemas de escritura indios; más tarde, a la escritura hebrea, que, en esencia, permanece sin cambios hasta el día de hoy; y por último, el arameo, que es la fuente del árabe moderno, con sus doscientos millones de lectores contemporáneos.

Vocales: las madres de la lectura

Los fenicios hicieron otro gran aporte: la notación explícita de las vocales. En el semítico, sólo se transcribían las consonantes. Este rasgo hizo que la escritura fuera complicada y generó ambigüedades, dado que las letras sólo especificaban las raíces de las palabras, no su pronunciación completa. La escritura fenicia, siguiendo la senda de los alfabetos hebreo y de Ugarit, introdujo la representación de las vocales agregando símbolos que se llamaron *matres lectionis* (“las madres de la lectura”). En un principio, las *matres lectionis* eran simplemente consonantes convertidas en vocales. Esta conversión acaso se haya producido porque la pronunciación de algunas palabras se había modificado (Coulmas, 1989: 146). Por ejemplo, la palabra semítica *panamuwa*, que en un primer momento se escribía con las consonantes PNMW, se distorsionó gradualmente en la lengua hablada en *panamua*, y luego *panamu*. Como la palabra todavía se escribía PNMW, la consonante final W se convirtió en la transcripción del sonido *u*. De forma similar, la consonante “j” (*jodh*) se volvió la transcripción oficial de la vocal *i*, el mismo tipo de distorsión del habla que hace que pronunciemos el nombre de la capital de Eslovenia, Ljubljana, como *Liubliana*.

Sin embargo, el sistema fenicio no era perfecto. No podía representar todas las vocales, y era ambiguo porque los mismos símbolos repre-

sentaban tanto consonantes como vocales. Los griegos fueron quienes finalmente crearon el alfabeto tal como lo conocemos. Al hacerlo, adoptaron los nombres de las letras fenicias ('*aleph*, *beth*, *gimmel*...), aunque para ese momento esas palabras ya no tenían significado. Desafortunadamente, muchas consonantes fenicias no existían en griego. Por ejemplo, los griegos no podían pronunciar la oclusiva sorda que se indicaba a través de un apóstrofe y que es la primera letra de la palabra '*aleph*' (que se ilustra con la letra A). Sin querer, los hablantes griegos perdieron este primer sonido y pronunciaron incorrectamente esta letra como *aleph*. Entonces, la letra "A" comenzó a denotar la vocal *a*, aunque inicialmente esta letra ilustraba una consonante en las lenguas semíticas. Una historia similar da cuenta de las letras iota, ómicron e ípsilon, que son consonantes semíticas convertidas en vocales griegas. El sistema siguió evolucionando durante muchos siglos. En griego todavía aparecían nuevos sonidos. Como resultado, surgieron nuevas letras para denotar la *o* larga (literalmente, *omega*) y la *e* larga (la letra eta, que se pidió prestada de la consonante fenicia *heth*, que ya no existía en griego). También se crearon grafemas complejos: la conjunción de "o" y "u" se seleccionó para denotar el sonido *u*, mientras que la letra ípsilon terminó por representar el sonido agudo *ü*, como el de la palabra francesa *sur* o la alemana *über*.

Si bien estos ajustes fueron lentos, un nuevo principio estaba en marcha. Por primera vez en la historia de la humanidad, el alfabeto les permitió a los griegos tener un inventario gráfico completo de los sonidos de su lengua. La escritura había perdido sus orígenes pictográficos y silábicos. Los griegos habían descubierto las unidades más pequeñas de la lengua escrita, los fonemas, e inventado una notación que podía transcribirlos todos. A través de ensayo y error, la evolución cultural había llegado a converger en un conjunto mínimo de símbolos. Éstos eran compatibles con nuestro cerebro, tanto porque el área de la caja de letras podía aprenderlos con facilidad como porque establecían un nexo directo con los sonidos del habla que se codifican en la corteza temporal superior.

5. Aprender a leer

El aprendizaje de la lectura supone conectar dos conjuntos de regiones cerebrales que ya están presentes en la infancia: el sistema de reconocimiento de objetos y el circuito del lenguaje. La adquisición de la lectura tiene etapas importantes: la etapa pictórica, breve período en que los niños “fotografían” algunas palabras; la etapa fonológica, en que aprenden a decodificar grafemas en fonemas; y la etapa ortográfica, en que el reconocimiento de palabras se vuelve rápido y automático. Las imágenes cerebrales muestran que durante este proceso se alteran varios circuitos cerebrales, especialmente aquellos del área de la caja de letras témporo-occipital izquierda. Con el paso de los años, la actividad neural que evocan las palabras escritas aumenta, se vuelve selectiva y converge en el sistema de lectura adulto.

Estos resultados, aunque todavía son preliminares, tienen muchas implicaciones para la educación. Sobre todo, ahora comprendemos por qué el método del lenguaje integral (o global) engañó a tantos psicólogos y maestros, aunque no se ajuste a la arquitectura de nuestro cerebro visual.

Querría que se maravillasen no sólo de lo que leen,
sino del milagro de que sea legible.

Vladimir Nabokov, *Pálido fuego*

Si bien hicieron falta muchas generaciones de escribas para que llegáramos a nuestros sistemas de escritura actuales, nuestros niños deben dominarlos en sólo unos pocos años. Ya sea que hablen francés, inglés, chino o hebreo, dos o tres años de enseñanza les permitirán comenzar a descifrar palabras. Durante esos años cruciales, la escritura, que sólo era una maraña de marcas en un papel, adquiere repentinamente un significado. La investigación de los mecanismos internos de este proceso de aprendizaje, desde la psicología hasta el nivel del cerebro, ha progresado mucho en los últimos diez años. Esta renovada comprensión de los mecanismos de la lectura tiene implicaciones importantes para la mejora de la enseñanza, que vamos a revisar en este capítulo.

La hipótesis del reciclaje neuronal plantea que la escritura se fija paulatinamente en el cerebro del niño porque encuentra un nicho apropiado para ella en los circuitos que ya son funcionales y sólo necesitan reorientarse mínimamente. Un proceso cerebral que supone ensayo y error, similar a la experimentación cultural que ocurrió durante la evolución de la escritura, debe ocurrir dentro de los circuitos visuales y lingüísticos del cerebro del niño. Una predicción central es que la lectura converge de forma gradual en el área t́emporo-occipital izquierda de la caja de letras. Conforme el niño se convierte en un lector experto, esta región cerebral debería especializarse en la escritura. También debería aumentar su comunicación con las áreas del lenguaje temporales, parietales y frontales periféricas. La psicología del desarrollo y, de forma más reciente, las imágenes cerebrales han comenzado a echar luz sobre las etapas que puntúan este proceso.⁴³

43 Excelentes reseñas del desarrollo de la lectura y sus implicaciones para la enseñanza constan en Rayner y Pollatsek, 1989; Ehri, Nunes, Stahl y Willows, 2001; Rayner y otros, 2001.

Es curioso cómo la hipótesis del reciclaje neuronal nos lleva a hacer foco sobre el primer año de vida, antes de que la lectura sea siquiera un problema. Si el modelo del reciclaje es correcto, los niños aprenden a leer sólo porque sus cerebros ya contienen la arquitectura necesaria, gracias a la evolución o bien al aprendizaje más temprano. Antes de que los niños se expongan a su primera clase de lectura, su desarrollo lingüístico y visual previo debe tener un papel esencial en preparar sus cerebros para este nuevo ejercicio cultural.

El nacimiento de un futuro lector

Alguna vez se pensó que la forma en que los niños pequeños ven el mundo era una enorme “frenética y floreciente confusión”. Se consideraba muy inmaduro y poco organizado su cerebro; para estructurarlo se necesitaría gran cantidad de estímulos y años de aprendizaje estadístico. La investigación más reciente, sin embargo, refuta esta teoría “constructivista” simplista. Por supuesto, el cerebro continúa siendo plástico hasta bien entrada la adolescencia, lo que abre una ventana de oportunidades para el aprendizaje y la educación. Sin embargo, ya desde el primer año de vida las dos facultades principales que luego se reciclarán para la lectura se ponen en marcha: la comprensión del habla y el reconocimiento visual invariante.

Durante los primeros meses de vida, los niños demuestran competencias lingüísticas sorprendentes. Pocos días después del nacimiento, perciben con facilidad los contrastes lingüísticos tanto como la diferencia entre *ba* y *ga* (Eimas y otros, 1971; Werker y Tees, 1984; Kuhl, 2004). Además, prestan especial atención al ritmo de su lengua materna (Mehler y otros, 1988), que oyen en el útero durante los últimos meses de embarazo. Sus habilidades lingüísticas ya dependen de la red de áreas del hemisferio izquierdo que estarán activas en los cerebros adultos de todos nosotros cuando procesemos el habla. La región temporal superior izquierda analiza los sonidos del habla, y el lóbulo temporal se organiza jerárquicamente en una serie de áreas presumiblemente capaces de extraer fonemas, palabras y oraciones. Incluso la región inferior frontal izquierda, llamada “área de Broca”, de la que tradicionalmente se pensaba que albergaba la producción avanzada del habla y las habilidades gramaticales, ya se activa cuando los bebés de tres meses escuchan oraciones (Dehaene-Lambertz y Dehaene, 1994; Cheour y otros, 1998; Dehaene-Lambertz, Dehaene y Hertz-Pannier, 2002; Pena y otros, 2003).

No cabe duda de que estas regiones cerebrales están genéticamente predisuestas para formar una red que permite la adquisición del lenguaje. Por supuesto, el aprendizaje también tiene un rol significativo. Durante el primer año de vida, las áreas del habla del niño se especializan para la lengua de su entorno (Kuhl, 2004). A la edad de seis meses, la representación de las vocales, que puede considerarse un “espacio vocálico” único para cada lengua, se distorsiona paulatinamente mientras se adapta a las vocales de la lengua materna. Hacia los once o doce meses, las consonantes convergen en los objetivos apropiados. Este es el momento en que los bebés japoneses dejan de percibir la distinción entre *r* y *l*, y nosotros, hablantes de inglés, dejamos de percibir contrastes extranjeros como los diferentes sonidos de *t* que son cruciales para las lenguas indias, pero no para la nuestra.

El cerebro del niño, como un joven naturalista o censista, extrae, ordena y clasifica de manera sistemática segmentos del habla. Detecta regularidades en el habla, decide qué transiciones de sonido son aceptables, y elimina el resto. De forma muy rápida, aparecen las reglas fonotácticas de la lengua: un bebé polaco acepta la cadena de consonantes *p, r* y *ch*, aunque esta secuencia rechina en los oídos de un hablante del español. Los bebés también computan qué porciones del habla ocurren con más frecuencia: estas se convertirán en las primeras palabras en su léxico de entrada (Saffran, Aslin y Newport, 1996; Marcus y otros, 1999; Altmann, 2002; Marcus y Berent, 2003).

Al final del segundo año, el vocabulario de un niño crece a la sorprendente tasa de diez a veinte nuevas palabras por día. Al mismo tiempo, establece las reglas gramaticales básicas de su lengua. A la edad de cinco o seis, cuando los niños se exponen a las primeras clases de lectura, ya tienen un conocimiento experto de la fonología. También poseen un vocabulario de varios miles de palabras y han dominado las estructuras gramaticales básicas de sus lenguas. Estas “reglas y representaciones” (Chomsky, 1980) están implícitas. El niño no es consciente de su pericia y no puede dar cuenta de ella. Sin embargo, este conocimiento indudablemente existe en un conjunto organizado de circuitos del habla que están a la espera de la palabra escrita.

La organización del sistema visual del niño ocurre al mismo tiempo. Incluso en los primeros meses, ese sistema ya es lo suficientemente sofisticado para analizar la escena visual en objetos y seguirlos cuando se mueven, incluso si se esconden brevemente en algún momento (Kellman y Spelke, 1983; una revisión reciente figura en Wang y Baillargeon, 2008). En el primer año de vida, los niños discriminan los

objetos utilizando sus contornos, su textura y su organización interna. Incluso notan la diferencia entre los objetos cóncavos y convexos (Bhatt y otros, 2006). Cuando ven un objeto desde distintos puntos de vista, hacen inferencias sofisticadas sobre su forma tridimensional (Kraebel, West y Gerhardstein, 2007). Esta notable competencia parece depender de una interpretación de cómo los bordes de los objetos se encuentran y determinan intersecciones con forma de T, de Y o de L (Shuwairi, Albert y Johnson, 2007). Por tanto, un sistema esencial, que luego se reciclará como un dispositivo de reconocimiento de letras, parece asentarse durante el primer año de vida. En su segundo año, los bebés reconocen versiones desmontadas de los objetos, lo que indica que son capaces de abstraer los elementos esenciales de la forma de una imagen (Smith, 2003; Son, Smith y Goldstone, 2008).

El desarrollo de la percepción de caras también se ha estudiado en gran profundidad. Cuando nacen, los bebés prestan especial atención a los rostros. A los dos meses, las caras ya parecen activar la región de la corteza tampo-ro-occipital que utilizan los adultos (Pascalis y de Schonen, 1994; Tzourio-Mazoyer y otros, 2002; de Haan, Johnson y Halit, 2003). Esta especialización temprana aumenta en forma paulatina durante el primer año de vida a medida que los bebés aprenden a reconocer las caras que los rodean. A los nueve meses, aproximadamente, su sistema de reconocimiento de rostros se especializa para los seres humanos y pierde la habilidad de distinguir los de otros primates (Pascalis, de Haan y Nelson, 2002; Pascalis y otros, 2005). En su segundo año, también aprenden a reconocer un rostro fuera de contexto (Robinson y Pascalis, 2004). Este proceso de especialización continúa durante los siguientes diez años o más, aunque de forma más lenta (Gathers y otros, 2004).

Hoy en día, no sabemos a qué edad el mosaico de especialización cortical para rostros, lugares y objetos alcanza finalmente su organización adulta. Algunas investigaciones sugieren que esta especialización cortical puede comenzar tan temprano como en el primer año de vida (Southgate y otros, 2008). Lo seguro es que a una edad cercana a los cinco o seis años, cuando un niño comienza a leer, el proceso clave de reconocimiento visual invariante ya está funcionando, aunque todavía tiene una plasticidad máxima. Este período resulta particularmente propicio para la adquisición de formas visuales nuevas como las letras y las palabras.

Tres pasos para la lectura

Señor, no ha gustado las delicadezas que se hallan en los libros. No ha comido papel ni bebido tinta, por así decir. Su entendimiento no está abastecido. No es más que un animal sensible en sus partes groseras.

Shakespeare, *Trabajos de amor perdidos*

¿Qué hicimos para convertirnos en “comedores de papel” y “bebedores de tinta” o, en otras palabras, lectores expertos? En 1985, la psicóloga británica Uta Frith propuso un modelo de adquisición de la lectura que se ha vuelto un clásico y distingue tres etapas principales de aprendizaje (Frith, 1985). Esta es, por supuesto, una simplificación teórica, ya que las tres etapas no se separan de modo estricto. El niño las atraviesa de manera constante a lo largo de varios meses o años, y las futuras teorías de la lectura por último podrán capturar esta continuidad dentro de una red unificada de neuronas donde las representaciones surjan gradualmente gracias a una regla de aprendizaje fija (Seidenberg y McClelland, 1989). Mientras tanto, sin embargo, los tres simples pasos de Frith proveen un bosquejo de los grandes cambios que ocurren en la mente del niño. Al menos desde el punto de vista de la pedagogía, aportan una descripción muy útil de la curva de aprendizaje del niño.

De acuerdo con Frith, la primera etapa de la lectura, que ocurre alrededor de los cinco o seis años, es “logográfica” o “pictórica”. El niño todavía no ha comprendido la lógica de la escritura. El sistema visual intenta reconocer palabras como si fueran objetos o rostros. Para esto, utiliza todos los rasgos visuales disponibles: la forma, el color, la orientación de las letras, la curvatura... En esta etapa, que suele anteceder a la enseñanza formal, el niño reconoce típicamente su nombre y tal vez algunas otras palabras que llaman la atención, como los nombres de las marcas (*CocaCola*).

El tamaño de este vocabulario visual varía significativamente entre los niños. Algunos logran memorizar algunas docenas de palabras. Otros, especialmente en las lenguas transparentes como el italiano, muestran una etapa pictórica muy corta, a menudo indetectable. Como sea, el reconocimiento de las palabras completas como imágenes sólo es una forma artificial de lectura. Los frecuentes errores demuestran que el niño no decodifica la estructura interna de las palabras, sino que explota unas pocas claves superficiales. Lo confunde con facilidad el parecido visual (*Chinchilla* se lee como *CocaCola*), no logra reconocer palabras co-

nocidas escritas de otra forma (“COCA-COLA” en mayúsculas), y no generaliza a cadenas que están relacionadas, como “coco”.⁴⁴ Estos rasgos sugieren que en esta etapa el cerebro del niño hace el intento de proyectar directamente la forma general de las palabras en sus significados, sin prestar atención a las letras individuales ni a su pronunciación; una forma de lectura falsa.

Volverse consciente de los fonemas

Para ir más allá de la etapa pictórica, el niño debe aprender a segmentar las palabras en las letras que las componen y vincularlas a sonidos del habla. El desarrollo de un procedimiento de conversión de grafemas en fonemas es característico de la segunda etapa de la adquisición de la lectura, la etapa fonológica. En esta instancia, dejan de procesarse las palabras completas. El niño aprende a prestar atención a constituyentes más pequeños, como letras aisladas y grupos de letras relevantes (“ch”, “ll”, “rr”...). Une los grafemas a los sonidos del habla correspondientes y practica su ensamble para formar palabras. En este momento incluso puede leer palabras que no conoce.

Algunas veces el niño conoce los nombres de las letras (*a, be, ce, de...*). Por desgracia, este conocimiento, lejos de ayudar, incluso puede retrasar la adquisición de la lectura. Saber que “c” se llama *ce*, “a”, *a* y “s”, *ese* es inútil cuando intentamos leer la palabra “casa”. Los nombres de las letras no se pueden ensamblar durante la lectura, la conexión sólo se hace con los fonemas. Pero los fonemas son unidades del habla bastante abstractas y ocultas. Una verdadera revolución mental tendrá que ocurrir antes de que el niño note que el habla puede separarse en fonemas, y de que el sonido *ba* está compuesto de dos de estas unidades, los fonemas *b* y *a*.

44 Goswami (1986) ha demostrado que algunos niños de cinco años descubren de forma espontánea analogías en la estructura interna de las palabras. Por ejemplo, luego de leer la palabra inglesa “beak”, pueden explotar esta competencia para leer otras palabras como “bean” o “peak”. Sin embargo, la importancia de estos resultados todavía es objeto de debate (Nation, Alien y Hulme, 2001). Parece que sólo la enseñanza explícita de las correspondencias de grafemas y fonemas permite a los niños adquirir un dominio genuino del sistema de escritura alfabético.

Los primeros años de instrucción en la lectura llevan a la aparición de una representación explícita de los sonidos del habla. La etapa clave es el descubrimiento de que el habla está compuesta de átomos o fonemas que pueden recombinarse y lo harán para crear nuevas palabras. Esta competencia se llama "conciencia fonológica". Los estudios que realizó el psicólogo José Morais han demostrado que el descubrimiento de los fonemas no es automático. Requiere enseñanza explícita del código alfabético (Morais y otros, 1979; Morais y otros, 1986). Incluso los adultos, si son analfabetos, pueden tener una detección fallida de los fonemas de las palabras.

Para fundamentar esta sorprendente conclusión, Morais y sus colegas invitaron a docenas de voluntarios portugueses adultos a su laboratorio. La mitad de ellos acababa de aprender a leer, mientras que los demás, provenientes del mismo contexto socioeconómico, eran analfabetos. Se invitó a estos voluntarios a participar en diferentes tipos de juegos lingüísticos. Les hacían preguntas como: si eliminas el primer sonido de la palabra *caro*, ¿qué se obtiene? (*aro*). Las palabras *tabla* y *torre* ¿comienzan con el mismo sonido? (Respuesta: "Sí".) ¿Cuántos sonidos tiene la sílaba *pre*? (Respuesta: "Tres".)

Los resultados de este experimento fueron claros. Los analfabetos se equivocaron sistemáticamente siempre que un juego requería que la atención se dirigiera al nivel de los fonemas. Se hicieron más experimentos que permitieron delimitar el problema. Los analfabetos no tenían dificultades para discriminar los sonidos del habla; por ejemplo, podían escuchar sin problemas la diferencia entre *da* y *ba*. También podían jugar con sílabas y rimas y reconocer que *table* y *label* terminaban con el mismo sonido.⁴⁵ Sólo fueron incapaces de detectar los constituyentes más pequeños del habla, los fonemas. No lograban ver que los mismos fonemas se repetían en diferentes localizaciones dentro de las palabras o que hay una *t* compartida tanto en *atún* como en *toro* o en *tarot*. Incluso fallaron en un simple juego de sustitución en el que un jugador dice una palabra y el otro debe repetirla luego de intercambiar el primer sonido con una *p*: cuando el primero dice *gato*, el segundo debe responder *pato*, y así sucesivamente.

El reverendo Spooner, decano del New College, en Óxford, se hizo famoso en Inglaterra por sus lapsus al hablar (una vez increpó a un estu-

45 Más allá de que la forma ortográfica de estas palabras inglesas sea distinta, la forma fonológica de ambas termina con el sonido *t*. [N. de la T.]

dante por “hissing his mystery lecture” o “tasting two worms”).⁴⁶ Gracias al trabajo de José Morais, hoy sabemos que esta forma de arte menor requiere estar alfabetizado. Decodificar estos intercambios de sonidos, como “Our Lord is a shoving leopard”,⁴⁷ hace considerable énfasis en la conciencia fonológica. Es divertido notar que los sumerios, con su escritura silábica, probablemente no pudieran hacer este tipo de bromas fonológicas.

Los efectos profundos de la conciencia fonológica prueban, precisamente, con cuánta profundidad la adquisición del código alfabético cambia nuestros cerebros. Aprender el alfabeto nos da acceso a una fluidez verbal que está fuera del alcance de los analfabetos. También lleva a cambios culturales profundos. Los adultos chinos que sólo pueden leer el chino tradicional fallan en las pruebas de conciencia fonológica, mientras que aquellos que también han aprendido la forma de escritura pinyin, que es alfabética, tienen éxito (Mann, 1986; Read y otros, 1986; Cheung y Chen, 2004).

Estos descubrimientos también tienen implicaciones para el cerebro del niño. Cuando un estudiante joven aprende a descifrar una escritura alfabética, las áreas visuales del cerebro aprenden a separar el mundo en letras y grafemas. Esto significa que algunas de las áreas del habla deben adaptarse a la representación explícita de los fonemas. Estas modificaciones deben estar muy coordinadas para que surja una ruta eficiente de conversión de letras en sonidos.

Grafemas y fonemas: el problema del huevo y la gallina

No comprendemos por completo la cadena causal que une la adquisición visual con la adquisición lingüística. ¿Un niño debe primero analizar el habla en fonemas para poder entender el significado de las letras?

46 El efecto cómico de estas frases es intraducible al español. En el primer caso, Spooner dijo “hissing his mystery lecture” (sisear una conferencia sobre el misterio), cuando buscaba decir “missing his history lecture” (faltar a su clase de historia). En el segundo caso, dijo “tasting two worms” (paladear dos gusanos), cuando buscaba decir “wasting two terms” (perder dos semestres). Estos errores se denominan, en honor al personaje, “spoonerismos”. [N. de la T.]

47 Este efecto también resulta intraducible en español. Spooner dijo “Our Lord is a shoving leopard” (Nuestro Señor es un leopardo que anda a los empujones), cuando buscaba decir “Our Lord is a loving shepard” (Nuestro Señor es un pastor amoroso). [N. de la T.]

O bien, ¿el niño comprende la naturaleza del código de las letras antes de descubrir que el habla está constituida por fonemas? Probablemente este sea sólo otro problema “del huevo y la gallina”. Los dos tipos de aprendizaje están tan íntimamente unidos que es imposible saber qué viene primero, si el grafema o el fonema; ambos aparecen juntos, y se benefician uno al otro.

Existen muchos datos que indican que los preescolares que son más fluentes en los juegos fonológicos, tales como hacer rimas, también aprenden a leer con mayor rapidez (Rayner y Pollatsek, 1989; Rayner y otros, 2001). Es más, la práctica con las manipulaciones de los sonidos del habla a edad temprana mejora el desempeño tanto en la conciencia fonológica como en la lectura. Estos hallazgos llevaron a que muchos investigadores concluyeran que la conciencia fonológica es un prerrequisito para la adquisición de la lectura. En otras palabras, el descubrimiento de los fonemas precede al de los grafemas.

Recientemente, sin embargo, Anne Castles y Max Coltheart (2004) han destacado que el vínculo causal de la conciencia fonológica con la adquisición de la lectura no está establecido de una forma tan sólida como uno podría pensar. La mayoría de los experimentos en esta área se realizaron con niños que ya conocían algunas letras, y que podrían haber sacado provecho a este conocimiento para segmentar las palabras habladas. Castles y Coltheart también llamaron la atención sobre la importante influencia que la ortografía puede tener sobre el procesamiento de los fonemas. Si se le pregunta a un niño angloparlante cuántos sonidos escucha en una palabra como “rich” dice tres (*r-i-ch*), pero en la palabra “pitch” escucha cuatro (*p-i-t-ch*). De hecho, ambas palabras tienen cuatro fonemas, pero la influencia del código escrito afecta en forma terminante la habilidad de percibirlos (Ehri y Wilce, 1980). Del mismo modo, si se pide a un niño de nueve años que quite el sonido *n* de una palabra como *bind*, las chances son que diga *bid*, más que la forma correcta *bide*,⁴⁸ otra vez un error por interferencia de la escritura (Stuart, 1990). En resumen, el conocimiento del código escrito influye claramente las tareas de conciencia fonológica. El caso de los analfabetos y de los lectores chinos demuestra que la manipulación consciente de los fonemas no surge sin enseñanza explícita del código alfabético.

48 La palabra *bind* se pronuncia /baɪnd/; por eso, si se suprime la “n”, siguiendo el criterio fonético, la palabra resultante sería *bide*, que se pronuncia /baɪd/ en lugar de *bid*, cuya pronunciación es /brɪd/. [N. de la T.]

En última instancia, la relación que se desarrolla entre los grafemas y los fonemas es probablemente una interacción recíproca constante, o una “causalidad en espiral”. La adquisición de las letras llama la atención sobre los sonidos del habla, el análisis de los sonidos del habla refina la comprensión de las letras, y así sucesivamente en una espiral sin fin que lleva a la aparición simultánea de los códigos de grafemas y de fonemas.

La aparición de los dos códigos puede medirse directamente si se monitorean los errores de lectura de un niño. En todas las lenguas, la etapa fonológica está marcada por errores de regularización muy peculiares. El lector inicial puede convertir algunas letras en sonidos, pero típicamente falla cuando una palabra es incluso un poco irregular. Por ejemplo, dirá *kay* /'ket/ en lugar de *key* /ki/, al leer la palabra inglesa para “llave”.⁴⁹ Otro síntoma es el efecto de complejidad silábica: un niño de primer grado puede ser capaz de leer sílabas simples con una consonante seguida por una vocal (CV), pero suele tener mayor dificultad a medida que el número de consonantes crece (CVC, CCVC, y así sucesivamente). Las palabras complejas, como “estricto” (VCCCVCV) no pueden ser descifradas por un novato (Sprenger-Charolles y Siegel, 1997; Sprenger-Charolles, Siegel y Bonnet, 1998).

Estos hallazgos indican que la adquisición de la lectura progresa de las reglas simples a las complejas. Un niño primero aprende a leer las letras cuya pronunciación es regular, como “b” o “k”. Luego aprende paulatinamente a decodificar grafemas cada vez más complejos e infrecuentes. Descubre grupos de consonantes relevantes, como “bl”, o “str”. También memoriza grupos de letras especiales, por ejemplo el sufijo “-tion”, que se lee *shun*, o el morfema irregular para el verbo “walk” (que se lee *wok*) en inglés. El lector experto es, por sobre todas las cosas, un hombre o mujer que ha leído mucho y que conoce implícitamente gran cantidad de prefijos, raíces y sufijos y los asocia sin esfuerzo tanto con la pronunciación como con el significado.

49 O, a la inversa, puede escribir “kee” cuando escucha la palabra *key*. El desarrollo de la ortografía suele darse en paralelo con la adquisición de la lectura, aunque algunas lenguas (en especial el francés) pueden ser más irregulares en la escritura (conversión de sonidos en letras) que en la lectura (conversión de letras en sonidos). Véanse Pacton y otros (2001); Martinet, Valdois y Fayol (2004). [Este tipo de errores es poco común en castellano: en tanto es un idioma transparente para la lectura, no existen palabras que puedan ser leídas regular e irregularmente. N. de la T.]

La etapa ortográfica

Cuando un niño logra determinado nivel de pericia, alcanza la tercera etapa del modelo de Frith, la etapa ortográfica. Poco a poco, empieza a formarse un vasto léxico de unidades visuales de varios tamaños, que incluye gran cantidad de información sobre la frecuencia de estas unidades y de sus vecinos. En esta etapa, el tiempo de lectura ya no se determina principalmente por la longitud de las palabras o por la complejidad de los grafemas. En cambio, se ve cada vez más influido por la frecuencia con que se encuentra una palabra: las más inusuales se leen más lentamente que las frecuentes. La cantidad de vecinos también emerge como un factor importante. Una palabra como “vano”, rodeada por vecinos de alta frecuencia como “mano” o “vino”, se lee con mayor lentitud. Todos estos efectos reflejan una configuración gradual de la segunda ruta de lectura, la ruta léxica, que complementa poco a poco la decodificación de letras en sonidos.

Probablemente el rasgo más claro de la etapa ortográfica es que la longitud de la palabra poco a poco deja de tener un papel en la lectura. En la etapa fonológica, los niños descifran con lentitud y de manera secuencial las palabras: una letra por vez. Como resultado, el tiempo de lectura aumenta con la cantidad de letras que tiene una palabra (Aghababian y Nazir, 2000; Zoccolotti y otros, 2005). En la etapa ortográfica, conforme la lectura se vuelve más fluida, este efecto de longitud poco a poco desaparece. En los adultos expertos está esencialmente ausente: todos leemos las palabras utilizando un procedimiento paralelo que capta todas las letras al mismo tiempo, por lo menos en las palabras más cortas (de ocho letras o menos).

En resumen, el paralelismo creciente y la eficiencia son característicos de la etapa ortográfica. Aparece un código de palabras cada vez más corto que representa en sólo una imagen la cadena entera de letras. Dicho análisis neuronal, organizado como un árbol jerárquico, en ese momento puede transmitirse sin esfuerzo en paralelo a las regiones del cerebro que procesan el significado y la pronunciación.

El cerebro de un lector joven

La psicología de la lectura infiere que existen tres etapas principales en la adquisición de la lectura, pero sus contrapartes cerebrales todavía deben definirse. ¿Cada etapa tiene su patrón de actividad cerebral distin-

tivo? ¿Hay un conjunto de regiones activas que es único para cada fase particular del desarrollo de la lectura?

La hipótesis del reciclaje neuronal postula que el sistema visual del lector joven se especializa gradualmente. Así, esta hipótesis lleva a predicciones claras a escala cerebral. Durante la primera etapa pictórica, cuando los niños tratan las palabras como dibujos, no deberían existir especializaciones claras, y ambos hemisferios deberían contribuir a la lectura. A medida que los lectores se vuelven más expertos, la activación debería focalizarse cada vez más, y paulatinamente debería converger en el área de la caja de letras t́emporo-occipital izquierda, donde siempre est́a alojado el reconocimiento visual de las palabras en los adultos expertos.

Si uno pudiera hacer un *zoom* a la escala de las neuronas aisladas o de las columnas corticales, vería una gran agitación en el microcódigo neuronal. De acuerdo con la perspectiva del reciclaje, cada lección de lectura lleva a una reconversión neuronal: algunas neuronas visuales, que antes se ocupaban del reconocimiento de objetos o de rostros, se encargan de las letras; otras, de bigramas frecuentes; otras, de los prefijos, sufijos o de las palabras que se repiten. En paralelo, el código neural para la lengua hablada también est́a en cambio constante. De alǵun modo, a medida que surge la conciencia fonémica, el código se transforma en una estructura más refinada en que los fonemas est́an expĺcitos. Finalmente, si pudiéramos seguir las fibras nerviosas durante el desarrollo y clasificarlas de acuerdo con su función, veríamos aparecer una proyección regular, similar a un peine, que vincula cada unidad visual con su pronunciación correspondiente.

Antes de seguir, me gustaría dejar en claro que las herramientas de imágenes actuales no nos permiten seguir el proceso de la lectura directamente en el cerebro del niño. Probablemente tengamos que esperar muchos años antes de que esto sea posible. Las primeras imágenes del cerebro del niño se obtuvieron con resonancia magnética funcional hacia finales de la década de 1990 y las imágenes del desarrollo todavía son un gran desafío.

El mayor problema no es la ética: la resonancia magnética se utiliza hace más de veinte años en hospitales pediátricos, incluso con los recién nacidos, y nunca se detectaron efectos colaterales. Por debajo de un umbral que es bien conocido, la exposición a los campos magnéticos es segura, siempre que no haya objetos metálicos que se acerquen demasiado al imán. Durante las pruebas de seguridad, algunas especies de

animales han pasado toda su vida en campos magnéticos muy fuertes, sin efectos adversos en su desarrollo biológico.⁵⁰

El problema real con las imágenes del desarrollo es metodológico. Resulta extremadamente difícil obtener datos sin ruido, en una escala milimétrica, del cerebro de un niño dentro del marco de un experimento que dura media hora. Sólo unos pocos laboratorios lo han logrado. Por lo general organizan el plan de modo que los niños hagan una primera visita para explorar un escáner de utilidad, que se acostumbren a su ruido, y se prueben los peculiares auriculares y antiparras que deberán usar. Además, como es debido, los instruyen para que se queden totalmente quietos. Algunos colegas del Sacker Institute de Nueva York utilizan un dispositivo muy inteligente que consiste en una pantalla de video que muestra los dibujos animados favoritos del niño, pero se corta abruptamente siempre que sus cabezas se muevan. Una vez que se los ha informado sobre su misión, que se les describe como un viaje al espacio, es divertido ver a estos niños participar con entusiasmo en un experimento de resonancia magnética.

Los pocos resultados obtenidos hasta la fecha demuestran que, ya a los siete años, la red normal para la lectura comienza a activarse cuando se ve un texto (Gaillard y otros, 2003). El área de la caja de letras ya puede verse en su localización adulta en la corteza tampo-occipital izquierda. Las regiones temporales laterales también están activas. Desgraciadamente, esta investigación sólo nos proporciona una imagen, y no sigue el desarrollo completo de la adquisición de la lectura. Si se desea un seguimiento de la evolución de estas activaciones en el tiempo, deberán realizarse estudios longitudinales en que se escanee a los mismos niños muchas veces mientras aprenden a leer. Este tipo de estudios todavía no se ha realizado, probablemente porque las familias no están convencidas de participar en proyectos que se extienden a lo largo de varios años y requieren visitas mensuales a un laboratorio.

Hoy en día, nuestros datos del desarrollo más consistentes provienen de estudios “transversales”, que evaluaron a grupos de niños en diferentes etapas, y pusieron su edad y desempeño en correlación con la actividad cerebral. En los últimos diez años, Bennett y Sally Shaywitz, de la Universidad de Yale, con Ken Pugh, que hoy trabaja en Haskins Labs, evaluaron a cientos de buenos y mediocres lectores de todas las edades. Sus resultados demuestran una evolución muy clara. A medida que me-

50 Al respecto, véase el sitio web <mrisafety.com>, por ejemplo.

jora la lectura, la activación de la región t́emporo-occipital izquierda aumenta en la localización exacta del ́area de la caja de letras de los adultos (Shaywitz y otros, 2002). La activaci3n de esta regi3n se correlaciona de manera m1s precisa con el puntaje obtenido por los ni1os en una prueba de lectura que con su edad. Constituye una verdadera marca cortical de la adquisici3n de la lectura, no simplemente un efecto determinista de la maduraci3n del cerebro.

En un grupo m1s peque1o de ni1os, de edades un poco menos homogéneas, Guinevere Eden, una investigadora de la Universidad de Georgetown, no detect3 un aumento de la actividad t́emporo-occipital izquierda durante la adquisici3n de la lectura. En cambio, observ3 una clara *disminuci3n* en la activaci3n t́emporo-occipital *derecha*, en una localizaci3n en el hemisferio derecho que era exactamente simétrica con la regi3n de la caja de letras (Turkeltaub y otros, 2003). Este descubrimiento se condice con la idea de que el aprendizaje supone un proceso de poda selectivo. Al principio, las palabras escritas, como cualquier otra imagen visual, llevan a un patr3n de activaci3n bilateral. M1s tarde, la activaci3n gradualmente se reduce a un foco m1s peque1o que, seg3n se presume, es 3ptimo. Resulta sorprendente notar c3mo esta observaci3n cumple una predici3n que realiz3 Samuel Orton, el padre fundador de la psicología de la lectura y la dislexia. Ya en 1925, afirm3 que “el proceso de aprender a leer conlleva la eliminaci3n del foco de atenci3n sobre las im1genes confusas de la memoria del hemisferio no dominante (derecho)” (Orton, 1925: 608).

La gradual focalizaci3n resulta m1s nítida en los registros de la actividad magnética y eléctrica en los cerebros de los ni1os (Simos y otros, 2001; U. Maurer y otros, 2005). Antes de la lectura, cuando un ni1o ve una palabra escrita, no hay rastros de la r1pida convergencia hacia el hemisferio izquierdo que ocurre en los adultos hacia los 170-200 milisegundos y refleja el reconocimiento invariante de las cadenas de letras. Cuando mucho, durante las etapas m1s tempranas de la lectura, la regi3n t́emporo-occipital *derecha* parece diferenciar las palabras de las cadenas de consonantes. Esta activaci3n del lado derecho puede constituir la base cerebral de la etapa “pict3rica” del modelo de Uta Frith, que ocurre al principio de la adquisici3n de la lectura. Durante este período, el ni1o memoriza las im1genes de unas pocas palabras familiares y las reconoce por su forma general, as3 como uno reconoce las caras familiares. Pocos a1os despu3s, en segundo grado, aparece un estallido de actividad para las palabras escritas cuando se las compara con cadenas sin significado de formas geométricas (U. Maurer y otros, 2006). La

activación aquí es tan grande y bilateral que una porción importante del sistema visual, en ambos hemisferios, parece ser utilizada para la lectura. Cuando aparece por primera vez una respuesta claramente lateralizada del área de la caja de letras en el hemisferio izquierdo, alrededor de los ocho años (Parviainen y otros, 2006), la especialización todavía está lejos de ser completa (Posner y McCandliss, 1999; McCandliss, Cohen y Dehaene, 2003). Incluso entre los niños de diez años, la onda negativa, que aparece alrededor de 170 milisegundos después de una palabra, parece verse sólo para palabras que son frecuentes y bien conocidas para el niño. Esta respuesta no es evocada, como se ve en los adultos, por seudopalabras que respetan las reglas ortográficas, como “mullón” o “gaspo”. El área de la caja de letras sólo alcanza su madurez completa al principio de la adolescencia; siempre y cuando, por supuesto, el niño lea con la suficiente regularidad como para volverse un experto.

Aprender a leer no altera simplemente la respuesta de la corteza visual a las palabras escritas. Las imágenes cerebrales también revelan cambios considerables en las áreas del lenguaje del hemisferio izquierdo. Se han observado modificaciones sorprendentes en el surco temporal superior y en la corteza prefrontal inferior izquierda (el área de Broca), que están asociadas con la percepción y la articulación de los fonemas. El aumento de la activación está en proporción directa con la adquisición de la “conciencia fonológica” (Turkeltaub y otros, 2003), la capacidad de manipular mentalmente en forma consciente los sonidos elementales de la lengua. En las redes de la lengua hablada, estas dos áreas son probablemente los puntos de anclaje más importantes para la lectura.

El cerebro analfabeto

La alfabetización cambia de manera drástica el cerebro, ¡y esto es literal! Un fascinante experimento de imágenes cerebrales prueba este hecho de modo inequívoco. Muestra que las medidas de la actividad cerebral son profundamente diferentes en los cerebros de los analfabetos. Aunque el experimento no tiene relación específica con el cerebro en desarrollo, arroja luz de forma indirecta sobre la adquisición de la lectura, ya que revela el impacto a largo plazo de la alfabetización en los circuitos cerebrales. En este caso, el cerebro adulto nos ayuda a comprender el cerebro del niño.

Para percibir la importante turbulencia que la adquisición de la lectura produce en el cerebro, Alexandre Castro-Caldas y sus colegas compararon los cerebros de adultos alfabetizados y analfabetos (Castro-Caldas y otros, 1998). Una dificultad central en este tipo de estudios, sin embargo, reside en la selección de los participantes. El analfabetismo puede ser un signo de exclusión social o de enfermedad genética o neurológica, condiciones que por sí solas pueden provocar cambios profundos en la actividad cerebral. La situación ideal, desde el punto de vista del investigador, es la comparación de dos sujetos normales y por lo demás idénticos: un lector y un no lector. Para convocar a voluntarios que no hubieran estado expuestos a la lectura pero que vinieran del mismo ambiente social y cultural, Castro-Caldas se enfocó en una situación que solía ser bastante común en algunas familias portuguesas. En la década de 1930, los padres con frecuencia eran demasiado pobres para mandar a todos sus hijos a la escuela. Como resultado, una hermana mayor se quedaba en casa para cuidar a los niños más pequeños. La comparación de dos hermanas de una familia con este esquema es ideal para evaluar el impacto de la escolaridad y la alfabetización en la organización del cerebro.

En el contexto de una colaboración internacional, doce mujeres portuguesas, la mitad de las cuales era analfabeta, volaron al Karolinska Institutet, en Estocolmo, para ser evaluadas mediante MRI anatómica y PET. Durante la evaluación, se les pidió que repitieran palabras y seudopalabras portuguesas. Este procedimiento reveló que, si bien el tamaño del vocabulario de ambos grupos era comparable, las analfabetas tenían problemas para repetir las seudopalabras. En vez de repetir con exactitud los estímulos sin sentido, los confundían con frecuencia con palabras que ya conocían: por ejemplo, repetían *capeta* como *cabeza*, o *travata* como *bravata*. Este interesante resultado conductual encaja con la idea de que la lectura aumenta la conciencia fonológica. Cuando aprendemos el alfabeto, adquirimos la nueva habilidad de analizar el habla en sus componentes elementales. Nos volvemos conscientes de la presencia de fonemas dentro de lo que inicialmente sonaba como una corriente continua del habla. Los que han leído mucho adquieren un código fonológico universal que facilita el almacenamiento de los sonidos del habla en la memoria, incluso si no tienen sentido. Cuando este código analítico está ausente, los analfabetos sólo pueden basarse sobre analogías toscas con palabras que ya conocen: una estrategia que limita su memoria para las seudopalabras.

En los analfabetos, las imágenes cerebrales mostraron que, más allá de la región prefrontal derecha que estaba involucrada en la recupera-

ción de la memoria, la diferencia entre escuchar una palabra y una seudopalabra era mínima, lo que confirma que las segundas se asimilaban a las primeras. En las mujeres alfabetizadas, sin embargo, la escolarización había modificado profundamente las respuestas a las seudopalabras. El cambio más importante se notó en la ínsula anterior, una región que está muy cerca del área de Broca, donde también se observa activación en los niños durante la adquisición de la lectura. Otras diferencias se vieron en todo el hemisferio izquierdo. El cerebro alfabetizado obviamente utiliza más recursos del hemisferio izquierdo que el cerebro analfabeto, incluso cuando sólo *escuchamos* palabras habladas.

Lo más sorprendente es que la alfabetización no sólo alteró la actividad cerebral durante las tareas de escucha de lenguaje, sino que también afectó la anatomía del cerebro. La parte posterior del cuerpo calloso, que conecta las áreas parietales de ambos hemisferios, se había engrosado en los sujetos alfabetizados (Castro-Caldas y otros, 1999; véase también Petersson y otros, 2007). Este hallazgo macroscópico implica un aumento masivo del intercambio de información entre los dos hemisferios, lo que tal vez explique el sorprendente aumento en el *span* de memoria verbal en los alfabetizados.

En *Fedro*, Platón se imagina un intercambio entre el rey egipcio Thamus y Teuth, el dios con cabeza de Ibis que le dio a la humanidad el regalo de la escritura: “Este conocimiento”, dijo Teuth, “hará a los egipcios más sabios y más memoriosos. Tanto la memoria como la sabiduría han encontrado remedio.” El rey Thamus, poco convencido, retrucó:

Esto producirá olvido en las almas de quienes lo aprendan, pues, por confiar en la escritura, dejarán de ejercitar su memoria y recordarán de forma externa, por marcas extrañas, y no desde su interior y por sí mismos. No has encontrado entonces un remedio para la memoria, sino para el hecho de recordar. Y lo que procuras a tus alumnos no es la verdadera sabiduría, sino su apariencia; pues al convertirse, gracias a ti, en gente muy informada sin haber recibido enseñanza, parecerá que saben muchísimas cosas, cuando en realidad sobre la mayoría de ellas no saben nada y serán insoportables de tratar, ya que se habrán convertido en sabios aparentes, pero no en sabios.
(Platón, *Fedro*)

Cuatro mil años después, los estudios psicológicos sobre el analfabetismo han decidido a favor de Teuth, y refutan los argumentos tanto de Thamus como de Platón: aprender a leer sin lugar a dudas mejora la memoria

verbal. Los analfabetos pueden recordar lo esencial de las historias y los poemas, pero su memoria de trabajo verbal –el *buffer*, dispositivo temporario que almacena las instrucciones, las recetas, los nombres o los números de teléfono durante períodos breves– es muy inferior a la nuestra. Incluso si los resultados de Castro-Caldas sobre los correlatos cerebrales del analfabetismo tuvieran que extenderse a un grupo mayor de participantes con métodos de imágenes más precisos, sus hallazgos son los primeros en demostrar que la escolarización y la alfabetización alteran las capacidades innatas de nuestros cerebros. La educación nos inyecta el virus de la lectura. Este se esparce con rapidez a nuestro sistema lingüístico y mejora nuestra memoria verbal. Cuando los niños aprenden a leer, vuelven de la escuela “letrada y literalmente cambiados”. Sus cerebros ya nunca serán los mismos.

¿Qué cosas nos hace perder la lectura?

No hay dudas de que el efecto principal de la alfabetización es positivo: aprender a leer produce beneficios cognitivos importantes. Si la hipótesis del reciclaje neuronal es correcta, sin embargo, el cerebro paga un precio por la alfabetización. La lectura invade los circuitos neuronales que están destinados a otros usos y probablemente conlleva la pérdida de algunas de las habilidades cognitivas que la evolución nos dejó.

Esta discusión sobre el costo de la lectura se basa sobre la observación de que la reorganización cortical probablemente sea, en algún nivel, un “juego de suma cero”. Salvo pocas excepciones, el número de neuronas corticales se fija durante la infancia. El día en que algunas de las neuronas comienzan a dedicarse al reconocimiento de las palabras, probablemente ya no estén disponibles para otros fines. Entonces, es posible que la adquisición de la lectura reduzca el espacio cortical disponible para nuestras otras actividades mentales. La hipótesis del reciclaje neuronal hace que nos preguntemos si nuestros ancestros analfabetos tenían habilidades visuales que hemos perdido.

Antes de seguir con esta hipótesis, me gustaría acentuar que es especulativa y que no tiene un fundamento experimental. Cualquier indicio existente de la pérdida de competencias cerebrales provocada por la lectura es ambiguo y muy escaso. Ni siquiera está claro que nuestra envoltura cortical sea fija y que no pueda evolucionar. Aunque el número de neuronas que poseemos es limitado, las sinapsis sin duda pueden cambiar. Incluso en el cerebro de los adultos, el aprendizaje toda-

vía puede alterar drásticamente las conexiones neuronales. El árbol de dendritas y axones que define cuántas células pueden comunicarse con determinada neurona varía con la complejidad del entorno. Estas fluctuaciones abren un universo de plasticidad cuyos límites todavía no están claros. Es improbable que el aprendizaje sea realmente un juego de suma cero, porque la estimulación externa puede llevar a un aumento significativo de la densidad de las conexiones neuronales.

Tampoco está claro que una misma neurona no pueda participar simultáneamente en más de una función. De hecho, hay unos pocos ejemplos inequívocos en que las mismas neuronas “asociativas” de las cortezas prefrontal, temporal y parietal participan en ensamblajes neuronales distintos. Una neurona parietal, por ejemplo, puede exhibir una preferencia por determinado número de objetos y, al mismo tiempo, ocuparse de la dirección del movimiento visual, dos funciones que parecerían no tener relación entre sí (Nieder, Diester y Tudusciuc, 2006).

El aprendizaje también refina el código neural. En un organismo no entrenado, hay una redundancia considerable, con muchas neuronas que realizan las mismas distinciones groseras. El aprendizaje en general conduce a representaciones más exactas, en que cada neurona responde con precisión a un rango estrecho de estímulos. Cuando un mono, por ejemplo, aprende una tarea de discriminación manual refinada, sus neuronas responden a una franja más angosta de piel y el mapa cortical que representa la información de entrada táctil de los dedos relevantes se agranda y es más preciso. El entrenamiento musical afecta a los humanos de la misma manera. Los pianistas y los violinistas tienen mapas corticales de sus manos izquierdas más grandes y más precisos, en especial si comenzaron a tocar en su niñez temprana.

Durante el entrenamiento táctil, el mapa de los dedos usurpa territorios cercanos que normalmente están dedicados al brazo o a la cara. Esta invasión podría tener un impacto negativo sobre la percepción de otras partes del cuerpo, pero también podría ser cierto lo opuesto: el aprendizaje podría llevar a una transferencia positiva. Lo que las neuronas aprendieron para la función A podría también resultar útil para la función B. La destreza manual para los violinistas tal vez podría aumentar su habilidad para aprender a escribir a máquina o a coser.

En resumen, no está claro si el efecto neto del aprendizaje es invariablemente positivo, o si también puede ser negativo. En el caso de la lectura, las horas que insume reconocer letras probablemente aumenten nuestra agudeza visual. De hecho, los lectores tienen una mejor percepción de las formas geométricas que los analfabetos (Kolinsky y otros,

1987; Kolinsky, Morais y Verhaeghe, 1994). De momento, este tipo de comparaciones sólo parece revelar los efectos positivos de la alfabetización. Sin embargo, todavía no se han realizado estudios serios para saber qué funciones cognitivas pueden verse afectadas negativamente por la lectura. Todavía no se han resuelto muchas preguntas fundamentales sobre los precursores corticales de la lectura. ¿Qué hacía nuestra área de la caja de letras antes de que aprendiéramos a leer? ¿Esta región cumplió un rol significativo en la evolución? ¿Tiene una función original y bien definida que desaparece en los lectores expertos?

Años de experiencia con los cazadores y recolectores del Amazonas, de Nueva Guinea o del monte africano llevaron a los antropólogos a sorprenderse con la habilidad de los aborígenes para leer el mundo natural. Descifran las huellas de los animales con una facilidad sorprendente. La inspección meticulosa de las ramas rotas o de las huellas poco visibles en la tierra les permite darse cuenta con rapidez de qué animal ha estado allí, qué tamaño tiene, la dirección que tomó y otros muchos detalles que serán invaluablees para la caza. Nosotros somos esencialmente “analfabetos” en lo que respecta a todos estos signos naturales. Es posible que la lectura de las huellas de los animales sea el precursor cortical de la lectura. Si la evolución ha producido especializaciones corporales tan refinadas como el ojo del águila o el salto del leopardo, sin duda puede modificar el cerebro visual del predador. La intensa presión selectiva que impusieron millones de años de interacción entre predador y presa pueden haber llevado a una especialización cortical para la lectura de las huellas de animales.

La tradición histórica china incluye una respuesta a mis especulaciones. De acuerdo con una explicación legendaria, las huellas de los animales inspiraron la invención de la escritura china. En el reinado del emperador Huang Di, alrededor del año 2600 a.C., uno de sus ministros, Cang Jie, decidió que las huellas que varias especies de aves habían dejado en la tierra constituían un pequeño conjunto de formas reconocibles con facilidad, y las usó para crear los primeros caracteres chinos.

Esta leyenda es similar a la metáfora mística del “libro de la Naturaleza”, que atrapó la imaginación de muchos teólogos y científicos, incluyendo al mismo Galileo. Tal vez aprendamos lentamente a descifrar el mundo natural como si fuera un libro abierto escrito por Dios. En su *Introducción del símbolo de la fe*, Luis de Granada, un teólogo del siglo XVI, literato y predicador, escribió:

¿Qué es todo este mundo visible sino un grande y maravilloso libro, que vos, señor, escribisteis y ofrecisteis a los ojos de todas las naciones del mundo?... ¿Qué serán luego todas las criaturas de este mundo tan hermosas y tan acabadas, sino unas como letras quebradas e iluminadas que declaren bien el primor y sabiduría de su autor?

Por su parte, sir Thomas Browne, un autor inglés del siglo XVIII, reiteró estas creencias:

El dedo de Dios ha dejado en todas sus obras un epígrafe, no gráfico ni compuesto de letras, sino de sus variadas formas, constituciones, partes y funciones, que aptamente combinadas [...] componen una palabra que expresa la naturaleza de cada una.

Si descendemos de estas alturas místicas para volver a una vida real y al laboratorio de imágenes cerebrales, tenemos que pensar mucho cómo podemos probar la hipótesis de que existe una competencia cortical entre la lectura de palabras y el reconocimiento de las huellas de animales. La investigación de este tema requiere, primero, la selección de un número de imágenes naturales como rostros, cuerpos humanos, animales, huellas, árboles, plantas, minerales, ríos y nubes. Luego tendríamos que observar los patrones de activación que dichas imágenes inducen en la superficie de la corteza visual. El verdadero desafío reside en hacer este experimento con dos grupos distintos de edades similares, uno alfabetizado y el otro analfabeto, mientras se controla el resto de los aspectos del ambiente visual.

Si bien sería muy difícil de llevar a cabo, valdría la pena intentar este experimento, que demostraría de modo directo si la adquisición de la lectura altera el mosaico preexistente de activación visual. Algunos territorios corticales pueden moverse, reducirse o incluso desaparecer a medida que surge la respuesta a las palabras escritas. Tal vez la respuesta a las huellas de los pies se vería atenuada, se movería al hemisferio derecho, o simplemente se vería eliminada por la adquisición de la lectura.

Hasta el presente, no se ha probado ninguna de estas ideas. Mi equipo de investigación espera poder realizar experimentos en esta dirección durante los próximos años; pero será un obstáculo importante lograr identificar a una población de sujetos analfabetos evaluables mediante imágenes cerebrales bajo condiciones éticas rigurosas. Mientras tanto, puede estudiarse la noción de una competencia cortical inducida

por el reciclaje neuronal para otros ámbitos diferentes al de la lectura. Todos nosotros conocemos a personas apasionadas por algún campo acotado de pericia visual, como el de los autos o los pájaros, y que pueden pasar tanto tiempo con ellos como algunos de nosotros lo pasamos leyendo. ¿Un aficionado a los autos que en un instante puede decir las diferencias entre un Studebaker Gran Turismo y un Alfa Romeo Giulietta tiene un cerebro reorganizado? ¿Se desarrolla una nueva área del cerebro cuando los observadores de pájaros acumulan conocimientos acerca de las docenas de especies de avocetas o de perdices? Y sobre todo, un entrenamiento experto de este tipo ¿tiene un costo cognitivo?

Un grupo de “expertos en la pericia”, coordinado por la investigadora canadiense Isabel Gauthier y sus colegas, estudia actualmente algunos de estos problemas. Además de los expertos en aves y en autos, han convencido a algunos voluntarios rentados para que pasen horas estudiando divertidos personajes virtuales llamados “greebles”, una familia de formas diseñadas para desafiar el reconocimiento visual humano:



Las imágenes cerebrales han revelado que todas estas formas de pericia visual aumentan las respuestas t mporo-occipitales a los objetos correspondientes. El cerebro visual de un aficionado a los autos se activa mejor cuando ve un Studebaker que cuando ve una avoceta. En los cerebros de los observadores de pájaros, de manera acaso poco sorprendente, ocurre a la inversa (Gauthier y otros, 1999; Gauthier y otros, 2000; Wong y otros, 2005).

Más controversial todavía es la afirmación de Gauthier y Michael Tarr: que este tipo de pericia invade sistemáticamente regiones corticales antes dedicadas al procesamiento de rostros, y además interfiere con ellas. Lo que aseguran es que los autos y los pájaros compiten con los rostros porque todos se manipulan en la misma área cortical de la “pericia”.⁵¹

51 Michael Tarr e Isabel Gauthier (2000) incluso propusieron suplantarse el nombre tradicional de la región que responde a las caras (el FFA, o *fusiform face area* [área fusiforme de los rostros], que hace referencia a su localización en el

La actividad cerebral que evocan los rostros, de hecho, se reduce un poco cuando estos compiten con la presentación de objetos de otros ámbitos de conocimiento, ya sean autos o *greebles* (Gauthier, Curran, Curby y Collins, 2003; Rossion, Kung y Tarr, 2004). En una prueba de percepción visual, los expertos en autos o en pájaros incluso pierden algunos puntos cuando su eficiencia para el reconocimiento de rostros se mide al evaluar la capacidad del cerebro para integrar las partes de la cara en un todo homogéneo (percepción “holística”).

Si bien estos resultados son discutibles, sugieren que la noción de la competencia cortical, una consecuencia directa de la hipótesis del reciclaje neuronal, podría tener algo de verdadera. Cuando pasamos tiempo con la lectura o con la ornitología, también entregamos a cambio espacio cortical. Esto, obviamente, reduce los recursos cerebrales que están disponibles para otras competencias, y nuestras habilidades para la percepción de rostros pueden verse afectadas.

Cuando las letras tienen colores

A negra, E blanca, I roja, U verde, O azul:
Vocales, algún día diré vuestro origen latente
Arthur Rimbaud, “Vocales”

Los datos de una fuente inesperada confirman que la adquisición de la lectura compite con las representaciones corticales previas. Algunas personas, como el poeta francés Arthur Rimbaud, están convencidas de que las letras “A”, “E” o “I” tienen colores bien definidos claramente visibles en el ojo de la mente. La experiencia se llama “sinestesia”: una extraña mezcla de modalidades sensoriales que constituye testimonio adicional del reciclaje neuronal (Marks, 1978; Cytowic, 1998; Ramachandran y Hubbard, 2001b).

En los sinestésicos, los cinco sentidos ya no están separados, sino que parecen activarse unos a los otros. La sinestesia puede tener varias formas. Una persona ve colores y movimiento cada vez que oye una voz o escucha música. Otra ve un halo de color alrededor de algunas letras o dígitos. Un tercero piensa que los números ocupan localizaciones espa-

giro fusiforme de la corteza temporo-occipital) con *flexible fusiform area* [área fusiforme flexible].

ciales fijas en un *continuum* interno que se enrosca como una línea curva en dos o tres dimensiones (Dehaene, 1997).

Estas extrañas declaraciones son más que invenciones de la imaginación de un poeta. Quienes experimentan sinestesia generalmente no son excéntricos sino personas sensatas. Varios artistas muy conocidos (Kandinsky, Messiaen, Nabokov), científicos (Richard Feynman, Nikola Tesla) y una gran cantidad de seres humanos anónimos figuran entre ellos. Todos insisten en que solamente cuentan lo que ven. Se dice que el propio Rimbaud comentó a su amigo Ernest Delahaye respecto de su célebre poema “Vocales”: “Creo que a veces veía o me sentía de este modo, y lo digo, hablo sobre ello, porque creo que es tan interesante como cualquier otra cosa”.

Los experimentos recientes demuestran que la sinestesia se comporta como una ilusión perceptual. A intervalos tan largos como varios años, los sinestésicos siempre seleccionan los mismos tonos de color para describir sus sentimientos sobre las letras de color, mientras que quienes no experimentan sinestesia, incluso luego de mucho entrenamiento, a menudo eligen colores diferentes de los que habían elegido originalmente. Los sinestésicos también tienen talentos que no pueden ser simulados (Ramachandran y Hubbard, 2001a; Hubbard y otros, 2005). La persona promedio tiene dificultades para encontrar un número 2 escondido en un mar de números 5, porque sus formas son muy similares, pero quienes experimentan sinestesia entre dígitos y colores lo ven inmediatamente, porque los dos dígitos aparecen en diferentes colores (figura 5.1).

Según parece, el aprendizaje cumple un rol importante en la sinestesia. Para un sinestésico, no todos los objetos y las formas parecen tener colores; en la mayoría de los casos, sólo se ven afectados los dígitos y las letras. Estos son precisamente los símbolos que se aprenden más tarde en la niñez. También se registran casos de sinestesia para muchos otros ámbitos de la cultura humana como las palabras habladas, los sonidos propios del lenguaje, las sinfonías, los instrumentos musicales... e incluso los sabores de las comidas.

Que la sinestesia aparezca exclusivamente para los objetos culturales aprendidos sugiere un vínculo profundo con la naturaleza necesaria del reciclaje neuronal. Mi hipótesis del reciclaje predice que cada nuevo objeto cultural debe competir con representaciones que se han establecido más temprano en la vida, en tanto busca un “nicho neuronal” en la superficie de la corteza. Esta competencia neuronal puede crear confusión temporaria en el nivel cortical (Dehaene, 1997: cap. 3). En el caso

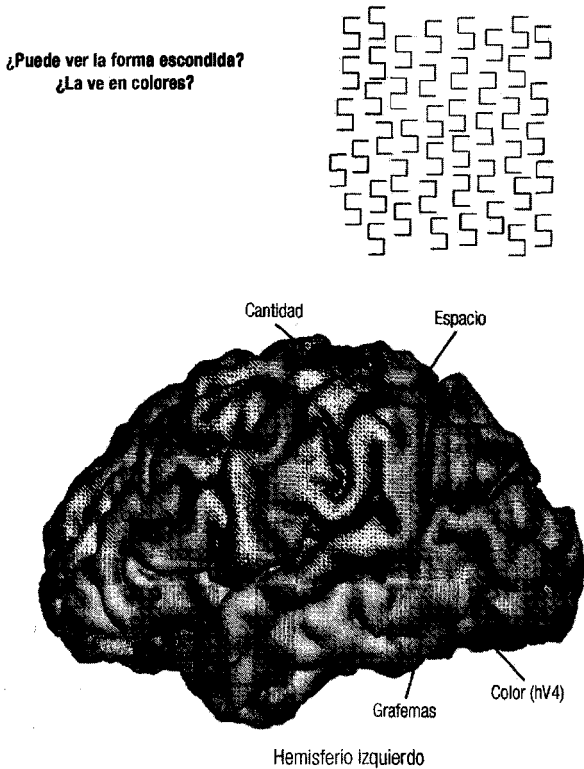


Figura 5.1. La sinestesia –un entrecruzamiento de modalidades sensoriales– se puede vincular con un fracaso parcial en el reciclaje neuronal. Algunos sinestésicos dicen que ven las letras y los dígitos en colores diferentes: por ejemplo, “A” es roja, “E” es azul, y así sucesivamente. Las pruebas demuestran que esto no es solamente un vago informe subjetivo, sino una verdadera ilusión visual: para los sinestésicos, la diferencia entre los dígitos 2 y 5 salta a la vista, porque los ven en colores diferentes. Cuando estas personas ven dígitos o letras, el área tampo-occipital izquierda de la caja de letras se activa, pero la estimulación también se desborda hacia el área vecina V4, que está asociada a la visión en colores, lo que crea un código neural que confunde las letras y los colores. Otros sinestésicos ven los números en el espacio, un tipo de asociación que puede relacionarse con la superposición de las áreas parietales de la cantidad y del espacio. *Utilizado con permiso de Ed Hubbard.*

de la lectura, como hemos visto, la activación que evocan las palabras escritas es inicialmente difusa. Anda a tientas dentro del sistema visual antes de concentrarse finalmente en el área t mporo-occipital izquierda de la caja de letras. Una vez que esto ha ocurrido, el resto del cerebro humano puede aprender que las señales neuronales provenientes de esta área ahora codifican las palabras, no los colores. En los sinestésicos, sin embargo, especulo que esta elección nunca se hace de forma completa. Es como si las neuronas no pudieran terminar de decidir si deberían dedicarse a las letras o a los colores.

Gracias a las imágenes cerebrales, Edward Hubbard pudo confirmar parte de este escenario. Estudi  a varios adultos sinestésicos que asociaban letras con colores y observó una superposición inusual de las activaciones corticales (Hubbard y otros, 2005; véase también Sperling y otros, 2006). Ver letras generalmente activa un área bien definida cuya parte posterior, de forma muy interesante, se encuentra muy cerca de otra región visual llamada  rea V4. Esta  rea desempeña un papel central en la percepción de los colores. De hecho, una forma clásica de aislar el  rea V4 consiste en hacer que los voluntarios comparen pinturas en que aparecen varios rectángulos de colores, como las del pintor holandés Piet Mondrian, con pinturas similares en blanco y negro. En los sinestésicos, Hubbard descubrió que la activación que inducían las letras y las áreas de color se superponían en forma notoria. Era como si su reciclaje neuronal estuviera incompleto y la división de trabajos dentro de la corteza visual se hubiera abortado de forma prematura. El mosaico cortical de los sinestésicos parecía haberse quedado atascado en un estadio intermedio de especialización, en que las letras no se habían podido concentrar en un área cortical estrecha.  Por qué? Tal vez la corteza del sinestésico responda a reglas de plasticidad cortical distintas, que no sean apropiadas cuando el cerebro necesita revisar su código cortical. Hubbard y Vilayanur Ramachandran especulan que la sinestesia puede deberse a una mutación de los genes que est n involucrados en la poda sináptica durante el desarrollo del cerebro (Ramachandran y Hubbard, 2001b). De hecho, este fenómeno se ve repetido dentro de las familias con un patrón que puede sugerir transmisión genética, posiblemente ligada al cromosoma X.

Si mi idea es correcta, no obstante, la sinestesia no es simplemente una anomalía genética sino un problema que ocurre sistemáticamente durante el reciclaje cortical. Por ende, una forma transitoria puede estar presente en todos los niños durante un breve período, antes de que los mapas corticales de las letras y los colores converjan en sus localizaciones

finales. La hipótesis de que todos los niños son sinestésicos no es infundada. Incluso los niños pequeños perciben, por ejemplo, una relación clara entre los sonidos agudos y los pequeños objetos en punta (Mondloch y Maurer, 2004; Maurer, Pathman y Mondloch, 2006). Uno de mis hijos, cuando tenía siete años, veía claramente los dígitos 1, 2, 3, 4, 5 y 9 en colores. Unos pocos meses después, los colores habían cambiado un poco y, cuando tenía ocho años, habían desaparecido de repente. “Recuerdo haber visto los números en colores”, decía, “pero ahora no puedo”. Hasta donde yo sé, ningún estudio sistemático ha indagado si todos los niños experimentan temporariamente un fenómeno similar. Simplemente parece posible que la asociación transitoria de símbolos y colores, en los niños, pueda servir como marcador de la reorganización de la corteza que está en pleno avance durante la adquisición de la lectura.

De la neurociencia a la educación

Lo que hemos visto hasta ahora es que la adquisición de la lectura conlleva importantes cambios funcionales en los cerebros de los niños. En primer término, deben descubrir los fonemas, luego proyectar las letras en los sonidos, y más tarde establecer una segunda ruta de lectura léxica. Aprender a leer implica literalmente una búsqueda de un “nicho neuronal” apropiado para las palabras escritas en el mosaico de áreas corticales para la percepción de caras, objetos, o colores.

Desde un punto de vista práctico, es esencial observar si podemos sacar ventaja de estos avances científicos para mejorar la enseñanza. Nuestra creciente comprensión de la lectura ¿conduce a indicaciones claras relacionadas con los métodos de enseñanza óptimos? ¿Algunas técnicas educativas facilitan la transición hacia el estado adulto más que otras?

En este punto hace falta mucha cautela. Mi propia impresión es que la neurociencia aún está lejos de ser prescriptiva. Una amplia brecha separa el conocimiento teórico acumulado en el laboratorio de la práctica en la clase. Su aplicación plantea problemas que, por lo general, los maestros logran resolver mejor que las expectativas basadas sobre la teoría de los científicos. De todos modos, las imágenes cerebrales y los datos psicológicos no pueden separarse de los grandes debates pedagógicos. A pesar del relativismo, simplemente no es cierto que haya cientos de formas de aprender a leer. Cada niño es único... pero cuando se trata de la lectura, todos tienen, a grandes rasgos, el mismo cerebro, que impone las mismas restricciones y la misma secuencia de aprendi-

zaje. Entonces, no podemos evitar analizar con cuidado las conclusiones –no las prescripciones– que la neurociencia cognitiva puede traer al campo de la educación (National Institute of Child Health and Human Development, 2000; Rayner y otros, 2001).

Definir lo que la lectura *no es* resulta un buen punto de partida. Como lectores sobreentrenados, ya no tenemos mucha perspectiva de lo difícil que es la lectura en realidad. Tendemos a creer que una mirada sobre una palabra nos permitirá su identificación inmediata y global en un solo paso. Nada podría estar más lejos de la verdad. El cerebro no va directamente de las imágenes de las palabras a su significado. Debe ocurrir toda una serie de operaciones mentales y cerebrales antes de que una palabra pueda decodificarse. Nuestro cerebro separa las partes de cada cadena, luego la recompone en una jerarquía de letras, bigramas, sílabas y morfemas. La lectura sin esfuerzo simplemente nos permite ver que estas etapas de descomposición y recomposición se han vuelto por completo automáticas e inconscientes.

Con esta definición en mente, el objetivo de la enseñanza de la lectura se vuelve muy claro. Debe apuntar a establecer una jerarquía neuronal eficiente, de modo que un niño pueda reconocer las letras y los grafemas y transformarlos con facilidad en sonidos del habla. Los demás aspectos esenciales de la mente lectora –el dominio del deletreo, la riqueza de vocabulario, los matices de significado y los placeres de la literatura– dependen de este paso crucial. No tiene sentido describirles a los niños lo maravillosa que es la lectura si no se les dan los medios para llegar hasta allí. Sin la decodificación fonológica de las palabras escritas, sus oportunidades se reducen significativamente. Una cantidad considerable de investigaciones, tanto con niños como con analfabetos, converge en el hecho de que la conversión de grafemas en fonemas transforma radicalmente el cerebro del niño y la forma en que procesa los sonidos del habla. Este proceso a través del cual las palabras escritas se convierten en cadenas de fonemas debe enseñarse explícitamente. No se desarrolla espontáneamente, y debe adquirirse. La lectura a través de la ruta directa, que lleva directamente de las cadenas de letras a su significado, sólo funciona luego de varios años de práctica utilizando la ruta de decodificación fonológica.

Las guerras de la lectura

La psicología cognitiva refuta directamente cualquier noción de enseñanza por medio de un método “global” o de “lenguaje integral”. Tengo

que hacer un enérgico énfasis en este punto, porque esas estrategias pedagógicas de este tipo en algún momento fueron muy populares y para muchos maestros no han perdido su atractivo. Estos métodos les enseñan a los niños a reconocer las asociaciones directas entre las palabras escritas o incluso oraciones completas y sus significados correspondientes. La técnica involucra la inmersión del niño en la lectura, y se espera que adquiera la lectura espontáneamente, como se adquiere una lengua natural. Los defensores extremos del enfoque del lenguaje integral o de la palabra completa niegan explícitamente la necesidad de enseñar la correspondencia sistemática entre los grafemas y los fonemas. Aseguran que este conocimiento aparecerá por sí solo como resultado de la exposición a las correspondencias entre palabras y significados.

Si bien sus postulados pueden parecer extraños, el enfoque del lenguaje integral se basaba sobre un principio generoso. Se negaba la instrucción por repetición, porque se pensaba que esto transformaría a los niños en autómatas que sólo podrían recitar de forma monótona oraciones tontas como “mi mamá me mima”. El movimiento del lenguaje integral se oponía con fuerza al método fónico, porque consideraba que este entrenamiento no permitía comprender los textos, que era el objetivo principal de la instrucción en la lectura. Los defensores de ese método hacían énfasis en la comprensión de textos, y para esto les daban a los niños rápidamente acceso a historias con significado. Lo que aseguraban era que para los niños era más divertido descubrir frases que palabras, reglas de ortografía o aburridas reglas de decodificación de letras en sonidos. Se verían fortalecidos si pudieran “construir su propio entorno de aprendizaje” y descubrir espontáneamente en qué consistía la lectura; no importaba si inicialmente intentaban adivinar y leían “el gáuto tiene sed” en lugar de “el gato tomó la leche”. Para los defensores del enfoque del lenguaje integral, la autonomía del niño y el placer de comprender era lo que más contaba, por sobre la precisión con que podía decodificarse cada una de las palabras.

La disputa entre los defensores del aprendizaje por lenguaje integral y los partidarios del método fónico desbordó las escuelas y a quienes tomaban las decisiones sobre la educación en todo el mundo durante, por lo menos, los últimos cincuenta años. En los Estados Unidos, las “guerras de la lectura” llegaron a su punto culminante en 1987, cuando el estado de California, como parte del nuevo currículum de lenguas y artes, aprobó proyectos de ley que favorecían el enfoque del lenguaje integral por encima de las habilidades básicas de decodificación. En pocos años, los resultados en desempeño lector en California cayeron en picada.

En 1993 y 1994, los puntajes recolectados por el National Assessment of Educational Progress demostraron que las habilidades de lectura de tres de cada cuatro niños del estado estaban por debajo del promedio para su grado. Se le echó la culpa de los desastrosos resultados principalmente a la instrucción con el método de lenguaje integral, a lo que siguió un gran contragolpe. La reforma radical hizo que la mayoría de las escuelas volvieran a la enseñanza sistemática de las correspondencias entre sonidos y letras, e implementaran, de este modo, las conclusiones de un influyente informe del National Reading Panel (National Institute of Child Health and Human Development, 2000; Ehri, Nunes, Stahl y otros, 2001; Ehri, Nunes, Willows y otros, 2001).

El enfoque del lenguaje integral hoy en día se ha abandonado oficialmente. Sin embargo, sospecho que el problema todavía está vivo en la mente de muchos maestros, porque los defensores de este método continúan firmemente atrincherados en su posición. Están convencidos de que su enfoque se adapta mejor a las necesidades de los niños. En Francia, así como en los Estados Unidos, los esfuerzos para conciliar las dos propuestas han llevado a la adopción de un compromiso poco sano, que se llama instrucción “mixta” o instrucción “combinada de lectura”.

Muchos maestros están tan confundidos con las idas y vueltas constantes de un enfoque educativo al otro que utilizan alternativamente todos los métodos existentes. El enfoque del lenguaje integral ha sido oficialmente despreciado pero, ya sea por inercia o por hábito, todavía es una presencia furtiva en los manuales de lectura y en los programas de instrucción para maestros. Incluso si las correspondencias entre grafemas y fonemas hoy son el foco principal, todavía hay actividades presentes en el aula que datan de la época del enfoque del lenguaje integral. Actividades de este tipo incluyen unir una palabra con una imagen, reconocer el contorno de las palabras, y que el niño reconozca de un vistazo su nombre y su apellido (figura 5.2).

Sería muy fácil echarles la culpa de esta disputa a los educadores. En realidad, tanto los psicólogos como los maestros tienen que cargar con la culpa, porque alguna vez fueron defensores convencidos de la lectura por medio del método del lenguaje integral (Bellenger, 1980). Ya en el siglo XVIII, el *Pedagogical Dictionary* de Nicolas Adam (1787) impulsaba las ideas progresistas del abad de Radonvilliers, que se quejaba de que el silabeo “atormenta” a los niños, forzándolos a “memorizar gran cantidad de letras, de sílabas y de sonidos que para ellos no tienen sentido”. En lugar de esta tortura, argumentaba a favor de “entretener a los niños con las palabras completas” escritas en cartas. A finales del siglo XIX,

el psicólogo James McKeen Cattell, en la Universidad de Pennsylvania, anunció que había descubierto que las palabras escritas se reconocían con más velocidad que las letras individuales. Este descubrimiento parecía apoyar el enfoque del lenguaje integral. Su trabajo fue continuado por el psicólogo suizo Édouard Claparède, para quien la adquisición de la lectura dependía de la percepción “sincrética”, que es característica

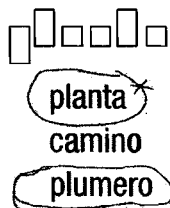
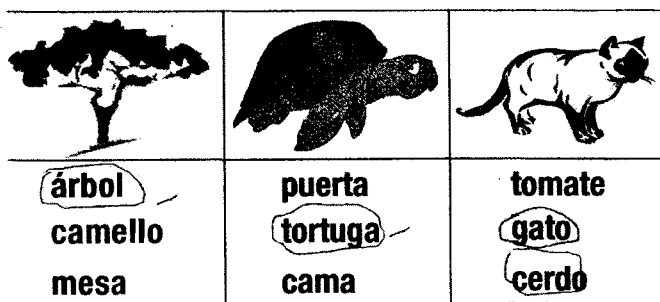


Figura 5.2. A pesar de su ineficacia, el método del lenguaje integral todavía es fuente de inspiración para educadores del mundo entero. Las pruebas aquí presentadas todavía se utilizan en algunas clases durante las primeras semanas de la instrucción de la lectura. Aunque el niño todavía no puede leer las palabras a través de la decodificación de letras en sonidos, se le pide que asocie una palabra completa con la imagen correspondiente (arriba). Por supuesto, comete errores tan groseros como llamar “cerdo” a un gato, lo que sugiere que no conoce el principio alfabético. Al niño también se le enseña a prestar atención a los contornos generales de las letras ascendentes y descendentes. Estos ejercicios de ningún modo están relacionados con la forma en que nuestro cerebro reconoce las palabras.

de los niños pequeños. En la década de 1930, el físico y psicólogo belga Ovide Decroly incorporó estas ideas en su método de lectura “ideo-visual”, que luego se expandió a varios países europeos y recibió el sello de aprobación de psicólogos tan eminentes como Jean Piaget o Henri Wallon.

El énfasis en la forma global de las palabras también invalidó el mundo de la tipografía, donde se acuñó el término “bouma” (por el psicólogo holandés Herman Bouma), para referirse a los contornos de las palabras. Con la esperanza de mejorar la legibilidad, los tipógrafos diseñaban intencionalmente fuentes que crearan los “boumas” visuales más distintivos (Larson, 2004).

El mito de la lectura por palabra completa

Causa sorpresa pensar cómo científicos y educadores pudieron aunar sus fuerzas para sostener una conclusión que hoy en día sabemos errada. Los argumentos científicos que llevaron a la idea falaz de la lectura a través de la palabra completa y la forma en que fueron refutados por los experimentos recientes merecen un examen cuidadoso. Un artículo reciente hace una lista de al menos cuatro puntos que constituyen los auténticos pilares del método de la palabra completa (Larson, 2004).

- 1) *El tiempo de lectura no depende de la longitud de la palabra.* Nos toma casi la misma cantidad de tiempo leer palabras cortas que largas, sin importar el número de letras (dentro de un intervalo de tres a ocho letras). Este es un hecho probado que, en la superficie, parece sugerir que el reconocimiento de las palabras no depende de la separación sistemática de las palabras en las letras que las componen. Desde un punto de vista subjetivo, de hecho, la lectura de las palabras parece ser una operación elemental e inmediata que procesa una cadena de letras como un todo indivisible. Los estudios científicos modernos de la lectura, sin embargo, demuestran que esta forma de pensamiento está errada. Si bien la longitud de las palabras no tiene impacto en los lectores adultos, esto no significa que nuestro cerebro no preste atención a las letras. La explicación es tanto más sencilla: nuestro sistema visual simplemente procesa todas las letras simultáneamente y en paralelo, más que una después de la otra. En los niños pequeños, sin embargo, el proceso es diferente. Durante los primeros años de la adquisición, el tiempo de lectura

está relacionado de manera estricta con el número de letras que tiene una palabra. Lleva años que el efecto de longitud de palabra desaparezca. El enorme impacto del número de letras en el tiempo de lectura de los niños pequeños provee evidencia clara de que la lectura no es un proceso global y holístico, especialmente durante los primeros años.

- 2) *Reconocer una palabra completa puede ser más rápido y más eficiente que reconocer una sola letra.* Este efecto, que descubrió Cattell, fue replicado por Gerald Reicher y popularizado en la psicología como el "efecto de superioridad de la palabra". Lo analizamos en el capítulo 1 (p. 67). El hallazgo es indiscutible, pero ya no se considera una prueba de que el reconocimiento de la palabra completa preceda a la extracción de las letras. Al contrario, los análisis recientes indican que el desempeño al leer una palabra escondida en el ruido visual está directamente relacionado con la tasa de reconocimiento de las letras que la integran (Pelli, Farell y Moore, 2003). Si respondemos más rápido a una palabra completa, puede ser que nuestra atención consciente se oriente con mayor facilidad hacia los niveles más altos de la jerarquía cortical. Acceder a la identidad de las letras individuales, incluso si se las extrae antes durante el procesamiento visual, demanda más esfuerzo (Ahissar y Hochstein, 2004). Existe un factor relacionado que afecta el número de neuronas relevantes. Muchas neuronas, en varios niveles léxicos, semánticos y fonológicos, diferencian "casa" de "cada", mientras que sólo un conjunto limitado de detectores visuales se descarga de forma distintiva para las letras aisladas "s" y "d". Por supuesto, esto no significa que la percepción de las palabras preceda a la identificación de las letras, sino que las diferencias entre las letras se amplifican a los niveles más altos del procesamiento de las palabras.
- 3) *Somos un poco más rápidos cuando leemos palabras en minúscula que cuando las leemos en mayúscula.* Para los defensores del enfoque del lenguaje integral, la velocidad a la cual leemos las letras en minúscula, en comparación con las letras en mayúscula, refleja el patrón visual único que crean las formas ascendentes y descendentes como "f", "l", "g" y "p". Estas formas de las letras crean un contorno específico que es la marca distintiva de cada palabra, el "bouma" de los tipógrafos. Este contorno desaparece cuando se escribe la palabra en letras mayúsculas, que son todas del mismo tamaño, y por tanto nuestra velocidad de lectura decrece. Sin embargo, esta teoría no funciona. Si realmente utilizamos los contornos para reconocer

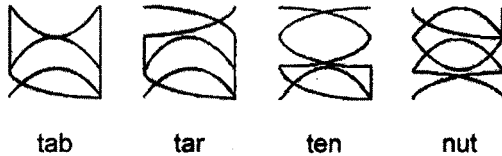
las palabras, no sólo deberíamos ser más lentos, sino que deberíamos ser simplemente incapaces de reconocer las palabras escritas en mayúscula. También debería ser imposible leer LaS pAlAbRaS iMpReSaS eN tIpOs De LeTrA mEzCIAdOs, ya que esto destruye los contornos familiares. Sin embargo, sabemos que estas manipulaciones dejan a las palabras una sorprendente legibilidad. Como vimos en el capítulo 2 (pp. 113-117), el área de la caja de letras del cerebro generaliza de forma invariante entre las presentaciones en letra mayúscula y minúscula, incluso en condiciones subliminales. Así, no tiene sentido prestar atención al pequeño descenso de velocidad que se observa para las letras en mayúscula. Puede simplemente deberse a la menor familiaridad con estas formas.

- 4) *Los errores tipográficos que respetan el contorno general de la palabra son más difíciles de detectar que otros que lo quiebran.* Este es uno de los argumentos clave que convencieron a los tipógrafos de prestar atención al contorno de las palabras. Aquí hay un ejemplo simple: si buscamos la palabra blanco “gato”, nos resulta más difícil encontrar el error en “gafo” que en “gapo”, en que la letra “p” (descendente) reemplazó la letra “t” (ascendente). De nuevo, mientras este es un hecho indiscutible, su interpretación nada tiene que ver con la forma global de la palabra. Se lo puede atribuir por completo a la confusión entre las letras individuales. La “f” de “gafo” es muy similar a la “t” de la palabra blanco “gato”, mientras que la “p” de “gapo” es claramente diferente. Los experimentos que deslindan los dos factores prueban que lo que lleva a la confusión entre las dos cadenas de letras es la similitud entre las letras, no el parecido de las palabras completas (Paap, Newsome y Noel, 1984).

En resumen, ya no hay motivo para dudar de que los contornos globales de las palabras prácticamente no cumplen un rol en la lectura. No reconocemos las palabras impresas porque captamos su contorno de forma holística, sino porque nuestro cerebro las separa en letras y grafemas. El área de la caja de letras en nuestra corteza ténporo-occipital izquierda procesa en paralelo todas las letras de una palabra. Este procesamiento veloz y en paralelo explica probablemente por qué psicólogos muy conocidos y respetados postularon alguna vez teorías de lectura global o “sincrética”. Hoy en día, sabemos que la inmediatez de la lectura es sólo una ilusión engendrada por la extrema automaticidad de las etapas que la componen, que operan fuera de la percepción consciente.

La ineficiencia del enfoque del lenguaje integral

La experimentación directa confirma que el sistema de lenguaje integral no funciona con efectividad. Varios investigadores lo han demostrado comparando el desempeño de quienes aprenden un nuevo sistema de escritura utilizando o bien una metodología de lenguaje integral o bien un enfoque basado en la fonética. Uno de los experimentos más impactantes lo diseñó mi amigo Bruce McCandliss, profesor del Sacker Institute de Nueva York (Yoncheva, Blau, Maurer y McCandliss, 2006). Bruce inventó un nuevo alfabeto artificial que es peculiar tanto porque está escrito de abajo arriba como porque las letras se tocan entre sí. Como resultado, cada palabra está representada por lo que a primera vista parece un patrón de líneas continuas. Aquí tenemos cuatro palabras escritas en este alfabeto.



Cuando miramos por primera vez estos patrones, no es obvio que estén formados por letras. Sólo si los examinamos de cerca, notamos que hay un patrón común para la “t” que se repite cuatro veces en este ejemplo. McCandliss les enseñó esta forma de escritura a dos grupos de estudiantes que estaban divididos en un grupo de lenguaje integral y un grupo analítico. Le pidió al grupo de lenguaje integral que memorizara cada palabra como una forma global, y no le advirtió que todas estaban integradas por letras. En cambio, al grupo analítico se le dijo que las palabras estaban formadas por una secuencia de letras escritas de abajo arriba. A partir de ese momento, se entrenó a ambos grupos de forma idéntica, mediante la exposición repetida a una forma dada y al término inglés correspondiente.

La pequeña diferencia en las instrucciones dadas a cada grupo tuvo un extraordinario impacto en cascada. Luego de un día de entrenamiento con una lista de treinta palabras, el grupo de lenguaje integral era realmente *mejor* para reconocerlas que el grupo analítico, que no dejaba de tener problemas para descubrir las letras. Este interesante resultado se condice con los informes de varios defensores del método de lenguaje integral. Ellos afirman una y otra vez que su enfoque les da

a los niños una ventaja. No obstante, esto sólo es verdad al principio, para las primeras treinta palabras, aproximadamente. La adquisición de las correspondencias entre letras y sonidos requiere un esfuerzo inicial mayor, pero los resultados a largo plazo son más positivos. De hecho, el segundo día, cuando los estudiantes aprendieron una nueva lista de treinta palabras, el grupo de lenguaje integral empezó a perder terreno. Aprendieron la mayoría de las palabras nuevas, pero a expensas de la lista inicial, que olvidaron rápidamente. El mismo patrón se repitió cada vez que se presentaba una nueva lista; tenían que empezar otra vez desde el principio y perdían lo poco que recordaban del día anterior. No hay nada sorprendente en esto. El grupo estaba intentando lograr la tarea imposible de aprender cada palabra por separado, como si fuera un carácter chino.

Mientras tanto, los estudiantes que les prestaban atención a las letras hacían un avance lento pero constante. Su tasa de éxito mejoraba día a día. Fue sorprendente que incluso en el primer encuentro con una nueva lista de palabras, se desempeñaban mejor que si lo hiciesen de forma azarosa. Es más, ¡su desempeño también mejoraba para las palabras que habían visto antes, incluso cuando no habían tenido oportunidad de volver a practicarlas! Este resultado no es tan desconcertante como puede parecer. La familiaridad de los estudiantes con las correspondencias entre letras y sonidos les permitió descifrar cualquier palabra, incluso cuando no recordaban haberla visto antes.

El experimento de McCandliss revela los dos problemas más importantes inherentes al enfoque del lenguaje integral. Primero, la mera exposición a las palabras escritas, sin que haya entrenamiento explícito en letras y sonidos, no es suficiente para permitir el descubrimiento de regularidades en la ortografía; en cualquiera de los casos, no de forma sistemática y rápida. Incluso luego de miles de palabras, es por completo posible que un adulto no informado no se dé cuenta de que estas palabras están compuestas por un alfabeto regular de letras (Rayner y otros, 2001; Bitan y Karni, 2003).

Segundo, aunque la generalización tiene un papel esencial en la adquisición de la lectura de los niños, el método de lenguaje integral no provee una base para la generalización a otras palabras. ¡Ni siquiera el educador más dedicado puede enseñar a sus alumnos todas las palabras de un idioma! Dominar la lectura es algo que depende, sobre todo, de nuestra habilidad para decodificar nuevas palabras. La "autoenseñanza" (Share, 1995, 1999) es un ingrediente esencial en el camino hacia la lectura independiente. Una vez que los niños dominan las correspon-

dencias entre la ortografía y los sonidos, pueden, por sí solos, descifrar la pronunciación de una cadena novedosa y asociarla con un significado familiar. Mediante la autoenseñanza, los vínculos neuronales de las cadenas de letras al sonido y al significado pueden automatizarse gradualmente sin instrucción formal adicional.

Me gustaría insistir en este último punto, porque refuta una de las afirmaciones centrales del sistema del lenguaje integral: la idea de que sólo este método respeta la independencia y la felicidad del niño. En realidad, sólo la enseñanza de la conversión de letras en sonidos permite que los niños se desarrollen, porque sólo este método les da la libertad de leer las palabras nuevas de cualquier campo que ellos elijan. Por eso, es un error hacer que la libertad intelectual de un niño tenga que lidiar con la rigurosa enseñanza por repetición. Si un niño debe aprender rápido y bien, se le debe dar instrucción de grafemas y fonemas bien estructurada. El esfuerzo es real, pero la recompensa en independencia es inmediata cuando los niños descubren, muchas veces con asombro, que pueden descifrar palabras que nunca aprendieron en el aula.

No me gustaría dar la impresión de que mi rechazo de todo el método de lenguaje integral se basa únicamente sobre experimentos de laboratorio o principios teóricos. Su eficiencia también se ha desmentido en el aula. La psicología de la lectura ha aprovechado la variedad de métodos de enseñanza existentes para medir el impacto de todos ellos en los niños. Esta línea de investigación, rayana en la epidemiología, ha medido el desempeño en varias pruebas de lectura estandarizadas no sólo en función del método de enseñanza utilizado, sino también en la edad del niño, el contexto socioeconómico y numerosas variables más.

Los resultados obtenidos en estos estudios avalan una conclusión que se ha validado para los niños estadounidenses y para aquellos que están expuestos a otros sistemas de escritura alfabéticos (Braibant y Gérard, 1996; Goigoux, 2000; Ehri, Nunes, Stahl y otros, 2001; Ehri, Nunes, Willows y otros, 2001). Los métodos de enseñanza basados sobre un enfoque de lenguaje integral son sistemáticamente menos eficientes que los métodos fónicos. El rendimiento es mejor cuando a los niños se les enseña, desde el principio, cómo se proyectan las letras en los sonidos del habla. Sin importar su contexto social, los niños que no aprenden las letras y los grafemas sufren de retrasos lectores. Estas dificultades bajo ningún aspecto son desdeñables, y persisten durante muchos años, incluso si los adultos logran finalmente sobreponerse a ellas.

Resulta significativo que, al contrario de lo que suelen asegurar los defensores del enfoque del lenguaje integral, las pruebas revelen que

los niños a quienes se enseña con dicho enfoque no sólo tienen resultados por debajo de su nivel escolar cuando leen palabras nuevas, sino que también son más lentos y menos eficientes en la comprensión de textos y oraciones. Esta observación refuta la idea de que la fonética transforma a los niños en robots incapaces de prestar atención al significado. De hecho, la decodificación y la comprensión van de la mano. Los niños que tienen mejores resultados en la decodificación de palabras y seudopalabras aisladas también tienen mejores resultados en la comprensión de textos y oraciones.

Los defensores del enfoque de lenguaje integral parecen confundir los medios y el fin. Están en lo cierto cuando afirman que la decodificación es un medio, no un fin en sí. Al respecto, uno no puede hacer otra cosa que elogiar los múltiples manuales de lectura actuales que de forma temprana presentan relatos breves, plenos de sentido, en lugar de sílabas tontas como “pa ta ka”. Sin embargo, la decodificación fluida es indispensable para la comprensión. Cuanto más rápido se automatiza la ruta de conversión de grafemas en fonemas, en mejor posición estará el niño para concentrarse en el significado de lo que lee.

Algunas sugerencias para educadores

En última instancia, ¿qué les pueden recomendar la psicología y la neurociencia a los maestros y a los padres que quieren optimizar la enseñanza de la lectura? La ciencia de la lectura, que está en crecimiento, no tiene fórmulas preestablecidas, pero sí ofrece algunas sugerencias. La clave es muy sencilla: sabemos que la conversión de letras en sonidos es una etapa esencial en la adquisición de la lectura. Todos los esfuerzos de enseñanza deberían enfocarse inicialmente en uno y sólo un objetivo, el dominio del principio alfabético de acuerdo con el cual cada letra o grafema representa un fonema.

En el jardín de infantes, juegos muy simples pueden preparar a los niños para la adquisición de la lectura. En el nivel fonológico, los preescolares se benefician cuando juegan con las palabras y con los sonidos que las componen (sílabas, rimas, y finalmente fonemas). A nivel visual, pueden aprender a reconocer y trazar las formas de las letras. El método Montessori, que requiere que los niños sigan letras de papel de lija con la punta del dedo, suele ser de gran ayuda en esta edad temprana. Ayuda a que los niños se den cuenta de la orientación de cada letra, y deja en claro que “b”, “p”, “d” y “q” son letras distintas.

Luego de esta etapa preparatoria, se les debe enseñar a los niños, sin miedo a la repetición, cómo cada letra o cada grupo de letras corresponde a un fonema. El cerebro del niño no extrae de forma automática estas correspondencias a fuerza de ver muchas palabras. Se le debe decir explícitamente que cada sonido del habla puede representarse con diferente “ropaje” (letras o grupos de letras) y que cada letra se puede pronunciar de una o varias maneras. En los niños lectores del inglés, dado que la ortografía de esta lengua es compleja, la presentación de los grafemas debe adoptar un orden lógico. Se debe comenzar con la presentación de los más simples y frecuentes, que casi siempre se pronuncian de la misma forma, como “t”, “k” y “a”. Los grafemas menos frecuentes (“b”, “m”, “f”), los irregulares (“i”, “o”) o los complejos (“un”, “ch”, “ough”) se pueden introducir de forma gradual. La atención de los niños debe orientarse hacia la presencia de estos elementos individuales dentro del marco de palabras conocidas. Esto es factible si se asigna a cada grafema un color distintivo, o si se los mueve a todos para crear nuevas palabras. También debería explicarse que las letras aparecen en un orden fijo, de izquierda a derecha, sin espacios. La habilidad para prestar atención a los varios subcomponentes de las palabras es tan esencial que esto se debe enseñar explícitamente, por ejemplo, cubriendo las palabras con una ventana corrediza que revele sólo algunas letras por vez.

Por supuesto, aprender la mecánica de la lectura no es un fin en sí; a largo plazo, sólo tiene sentido si lleva al significado. Los niños deben saber que la lectura no es simplemente balbucear unas pocas sílabas; requiere que se comprenda lo que está escrito. Cada período de lectura debería terminar con la lectura de palabras o de oraciones que se puedan comprender con facilidad y que el niño pueda repetir, resumir o parafrasear.

Muchos maestros considerarán que mis recomendaciones son redundantes y obvias, pero no está mal especificarlas. Una vez probé un programa de lectura que supuestamente había ganado premios, en que la primera palabra que se le enseñaba al lector inicial era la palabra francesa *oignon*, que se pronuncia *onion*, casi como en inglés, ¡probablemente la palabra de ortografía más irregular de todo el francés! Errores ridículos como este muestran con claridad que incluso los principios más básicos de la enseñanza no han sido todavía absorbidos por todos.

También es igualmente importante hacer énfasis en lo que los padres y los maestros *no* deberían hacer. Delinear los contornos globales de las palabras no tiene sentido. Del mismo modo, llamar la atención de los

niños sobre los patrones de letras ascendentes y descendentes no ayuda especialmente. Los ejercicios como estos incluso pueden ser perjudiciales para la lectura, en tanto desorientan a los niños al prestarle atención al contorno global de las palabras. Esto los hace llegar a la conclusión de que pueden adivinar de qué palabra se trata sin examinar las letras que componen las palabras una por una. Los contornos de las palabras “oigo” y “sigo” son casi idénticos. Los niños necesitan comprender que sólo el análisis de las letras una por una va a permitirles descubrir la identidad de una palabra.

Dada la necesidad esencial de evitar distraer del nivel de las letras la atención de los niños, soy cauteloso con los numerosos manuales de lectura decorados en exceso que contienen más ilustraciones que texto. Los carteles con palabras que se cuelgan en las clases a lo largo del año escolar, en los cuales las mismas palabras aparecen en los mismos lugares, también pueden crear problemas. Algunos niños, muchas veces los más capaces, simplemente recuerdan la posición fija de cada palabra y la disposición general de la página, y ya no prestan atención a las letras que forman parte de cada palabra. Esta estrategia puede dar a los padres y a los maestros —y, lo peor de todo, al propio niño— la ilusión de que sabe leer. Las ilustraciones también desvían la atención del texto. Los niños actualmente viven en un mundo de constante sobreestimulación y distracción, por lo que muchos ya no aprenden a mantener la atención durante períodos largos de tiempo. El regreso a los textos sobrios, escritos sobre el pizarrón durante la clase (de modo que el gesto también se memorice), puede ser beneficioso. También puede valer la pena recordarle al niño que, si bien la lectura es un trabajo duro, tiene su propia recompensa cuando decodificamos y comprendemos un texto.

Ir demasiado rápido también puede ser una desventaja. A cada paso, las palabras y las oraciones que se presentan en clase sólo deben incluir grafemas y fonemas que ya se han enseñado de forma explícita. Las clases de lectura no dejan mucho lugar para la improvisación. Un maestro no puede decidir, a último momento, trabajar sobre algunas oraciones o palabras que no preparó. Una elección azarosa de este tipo será confusa, porque probablemente requiera conocimiento avanzado que el niño todavía no ha aprendido.

Como lectores adultos expertos, subestimamos sistemáticamente lo difícil que es leer. Las palabras que se les dan a los lectores iniciales deben analizarse letra por letra para asegurar que no contengan problemas de ortografía que estén más allá del conocimiento actual del niño: por ejemplo, las pronunciaciones inusuales, las letras silenciosas, las

consonantes dobles, o las terminaciones peculiares como, en inglés, el sufijo “-tion”. Todas estas peculiaridades, si se las introduce demasiado temprano en el currículo, pueden hacer que los niños piensen que la lectura es arbitraria y que no vale la pena estudiarla. Como científico y profesor que soy, espero que los maestros y los educadores a quienes confío a mis hijos inviertan tanto cuidado obsesivo en el diseño de las clases como mis colegas y yo cuando preparamos un experimento psicológico.

Por último, los tutores de los niños con problemas de lectura no deberían caer en el desánimo. Las dificultades para la lectura varían de país a país y de cultura a cultura, y el inglés tiene, probablemente, el más difícil de todos los sistemas de escritura alfabéticos. Su sistema ortográfico es por lejos el más opaco: cada letra puede pronunciarse de muchísimas maneras diferentes, y abundan las excepciones. Las comparaciones que se llevan a cabo internacionalmente prueban que este tipo de irregularidades tiene un impacto importante sobre el aprendizaje (Seymour, Aro y Erskine, 2003). Los niños italianos, al igual que los españoles, luego de algunos meses de escolarización, pueden leer prácticamente cualquier palabra, porque la ortografía italiana es casi perfectamente regular. Estos afortunados niños no tienen dictados ni ejercicios de ortografía: una vez que saben cómo pronunciar cada grafema, pueden leer y escribir cualquier sonido del habla. A la inversa, los niños franceses, daneses, y especialmente los de lengua inglesa, necesitan años de escolarización antes de converger en un procedimiento de lectura eficiente. Incluso a los nueve años, un niño francés no lee tan bien como un alemán de siete años. Los niños ingleses sólo alcanzan el dominio de la lectura de sus pares franceses luego de cerca de dos años completos de enseñanza adicional (figura 5.3).

Excepto que se encare una gran reforma de la ortografía, no hay mucho que podamos hacer para simplificar la adquisición de la lectura en inglés. Como padres de niños que leen inglés, todo lo que podemos hacer es alentar a nuestros hijos para que practiquen lectura todos los días... y acordarnos de que nuestra situación podría ser peor. En China, las clases de lectura se extienden hasta bien entrada la adolescencia, para que los estudiantes puedan adquirir los varios miles de caracteres que son necesarios para leer un diario. El aprieto en que se ven los niños chinos es aún más sorprendente porque podría evitarse: actualmente la mayoría de ellos aprende en primer término la simple notación alfabética pinyin, que se adquiere en cuestión de meses (véase capítulo 2, p. 124).

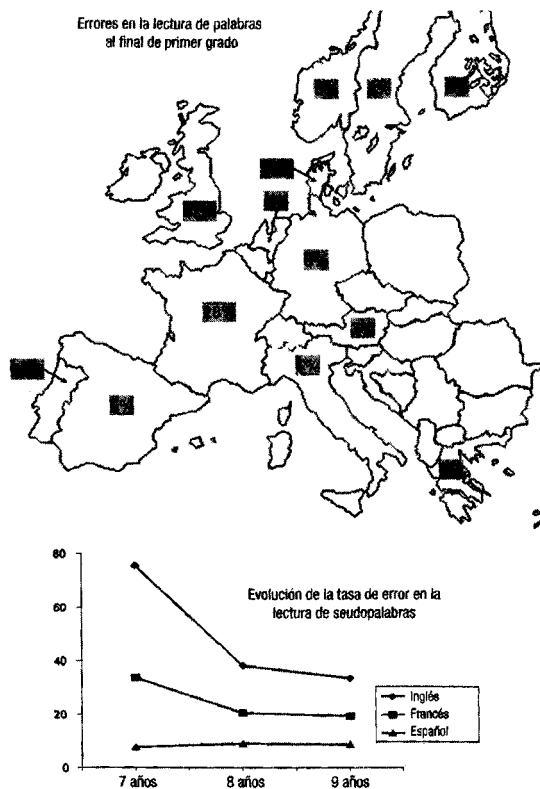


Figura 5.3. Las lenguas europeas no son iguales frente a la adquisición de la lectura. En quince países europeos se midieron las tasas de error en la lectura de palabras familiares luego de un año de escolaridad (arriba, datos de Seymour, Aro y Erskine, 2003, tabla 5). Las palabras del finlandés, del alemán, del griego, del austriaco y del italiano, cuya ortografía era transparente, ya se leían con precisión. En el otro extremo de la escala, el inglés es muy opaco y los niños sólo podían leer una de cada tres palabras. Estas desigualdades se perpetuaban en los años subsiguientes, particularmente para las pseudopalabras como “balist” o “chiffing”, que sólo pueden descifrarse con la decodificación de grafemas en fonemas (abajo, datos de Goswami y otros, 1998, tabla 8). Requiere uno o dos años adicionales de escolarización que un niño inglés alcance el nivel de lectura de un niño francés.

Los maestros también pueden consolarse al pensar que el tiempo que los niños pasan aprendiendo a leer tiene un impacto extraordinariamente profundo y útil en sus cerebros. Intentemos imaginar la incesante actividad de las nuevas conexiones que se construyen luego de cada clase de lectura. El área de la caja de letras de cada joven lector está llamada a integrar una jerarquía de neuronas que codifican letras, bigramas, grafemas y morfemas. Este esfuerzo crea una efervescencia neuronal tremenda en todo el circuito de la lectura. Cientos de millones de cables neuronales deben encontrar sus blancos apropiados dentro de otras regiones que codifican los sonidos del habla y el significado. Nos guste o no, esta jerarquía neuronal es tanto más compleja para el inglés o para el francés que para lenguas transparentes como el italiano. La cantidad de reciclaje neuronal necesaria para el inglés es tan impresionante que debemos enseñarles a los niños de forma incansable a enfrentar cada una de sus incontables dificultades ortográficas, incluso mucho tiempo después de terminar la escuela primaria.

Mi firme convicción es que cada maestro debería tener alguna noción de cómo opera la lectura en el cerebro del niño. Aquellos que hemos pasado muchas horas depurando programas de computadora o reparando lavarropas rotos (cosa que he hecho) sabemos que la mayor dificultad para realizar estas tareas consiste en detectar qué hace la máquina para cumplir su tarea. Para tener cierta esperanza de éxito, uno debe intentar imaginarse el estado en que se ha atascado, para poder comprender cómo interpreta las señales que le llegan e identificar qué intervenciones la harán regresar al estado deseado.

Los cerebros de los niños también pueden considerarse máquinas formidables cuya función es aprender. Cada día que pasan en la escuela modifica una alucinante cantidad de sinapsis. Las preferencias neuronales cambian, surgen estrategias, se establecen rutinas novedosas, y nuevas redes empiezan a comunicarse entre sí. Si los maestros, tal como los expertos en reparaciones, pudieran comprender un poco todas estas transformaciones internas, estoy convencido de que estarían mejor equipados para descubrir estrategias educativas nuevas y más eficientes. A pesar de que la pedagogía nunca será una ciencia exacta, algunas formas de alimentar de información al cerebro con palabras escritas son más efectivas que otras. Cada maestro carga con el peso de experimentar con cuidado y con rigor para identificar las estrategias de estimulación apropiadas que van a proveer a los cerebros de los estudiantes de un óptimo enriquecimiento diario.

6. El cerebro disléxico

Algunos niños inteligentes y con un desarrollo normal experimentan una dificultad desproporcionada para aprender a leer: padecen dislexia. En la mayoría de los casos, este problema está vinculado con una dificultad en la habilidad para procesar fonemas, y actualmente está descubriéndose una cadena causal que va desde los genes hasta el comportamiento disléxico. Los cerebros de los niños disléxicos presentan algunas anomalías características: la anatomía del lóbulo temporal está desorganizada, su conectividad está alterada, y varias regiones no se activan lo suficiente durante la lectura. Se supone que este desorden tiene un componente genético fuerte, y se han identificado cuatro genes de susceptibilidad, la mayoría de los cuales controlan la migración neuronal, un evento central en la construcción del cerebro durante el embarazo. Cualquier problema que afecte este episodio puede llevar a la desorganización de las capas de la corteza.

¿Estas anomalías biológicas implican que la dislexia no se puede curar? Para nada. Las nuevas estrategias de intervención traen nuevas esperanzas. Estas técnicas, que están basadas en entrenamiento computarizado intensivo, mejoran los resultados en lectura y conducen a una normalización parcial de la actividad cerebral en los niños disléxicos.

La señorita Everett sacó un libro que se llamaba *Reading without Tears* [Leer sin lágrimas]. En mi caso, con seguridad, su título no estaba justificado... Mis años escolares, en general, me desalentaron de forma considerable... No era placentero sentirse tan completamente sobrepasado y atrasado al principio de la carrera.

Winston Churchill, *Mi primera juventud: una misión errante*

Todos los maestros, sin importar su talento ni su devoción por la enseñanza, se encuentran a veces con un niño que se resiste a la lectura. Su nivel de inteligencia es normal, o incluso para matemática o manualidades está por encima del promedio. En la lectura, sin embargo, repentinamente tiene muchas dificultades, se equivoca en todas las sílabas, mezcla los sonidos, adivina las palabras sin pensar, se desalienta pronto... y también desanima a todos los que lo rodean. La visita a un terapeuta del lenguaje suele confirmar el temido diagnóstico: el niño padece dislexia.

¿Qué mecanismos cerebrales se esconden detrás de este término familiar? Nuestra comprensión científica de la lectura, ¿puede ayudar a comprender la dislexia? ¿Esta última es resultado de un “bloqueo mental” (en el supuesto de que esa fórmula tenga algún significado) o de un daño cerebral real? ¿Qué áreas, qué neuronas, qué genes están involucrados? ¿Qué tipo de terapia puede recomendarse?

Este capítulo resume treinta años de investigación sobre la dislexia, desde su clasificación psicológica inicial hasta los estudios genéticos, anatómicos y de imágenes cerebrales y, por último, el diseño reciente de *software* de intervención. Hoy en día hay una renovada esperanza de curar parcialmente este déficit, a la vez que se produce una revolución neurocientífica: casi no pasa un mes sin que se haga un nuevo descubrimiento. Por ejemplo, la identificación de los factores de riesgo para la dislexia, los orígenes de sus bases genéticas, y un inventario de los cromosomas relevantes, de los genes y de los procesos biológicos que ellos controlan. La investigación en todos estos campos contribuye día a día

a nuestro conocimiento de los mecanismos genéticos y neuronales de la dislexia.

¿Qué es la dislexia?

Hay muchos tratados que definen la dislexia: es una dificultad desproporcionada para aprender a leer que no se puede atribuir al retraso mental, a un déficit sensorial o a un contexto familiar desfavorecido. Esta definición deja en claro que no todos los lectores con dificultades son disléxicos. Los déficits auditivos mal diagnosticados, un bajo nivel de coeficiente intelectual, un contexto educativo pobre, o simplemente la complejidad de las reglas ortográficas pueden explicar algunos de los problemas de los niños con la lectura. Sólo cuando todas estas causas posibles se han eliminado, uno sugeriría que se trata de un caso de dislexia.

Las estimaciones actuales indican que del 5 al 17% de los niños de los Estados Unidos sufre dislexia (Shaywitz, 2003). Estos números parecen muy altos, pero dependen del umbral que se utilice para definir el déficit y, por eso, son algo arbitrarios. Dentro de una franja etaria, los resultados en las pruebas estandarizadas de lectura trazan una perfecta curva de campana (Shaywitz y otros, 1992). Si esa curva tuviera dos cotas máximas, una para los resultados normales y la otra para el desempeño pobre, sería fácil definir con criterios bastante objetivos la población de niños disléxicos. Sin embargo, como sólo hay punto máximo en el centro, no existe una línea divisoria neta entre los lectores normales y los disléxicos. La prevalencia de la dislexia depende de que se plantee un criterio arbitrario de "normalidad". En nuestro contexto alfabetizado, se estima que los niños que tienen resultados por debajo del nivel que va del 5 al 10% en las pruebas de lectura tienen una desventaja severa, aunque su problema probablemente hubiera pasado inadvertido hace dos siglos, cuando sólo una parte de la humanidad aprendía a leer.

El grado de arbitrariedad que tiene el punto de corte de la dislexia puede llevar a la conclusión errónea de que la dislexia es una pura construcción social, vinculada con la sobremedicación dominante, que tiende a confundir los problemas del comportamiento con los problemas de la salud. Este no es el caso. Varios indicadores apuntan a los orígenes cerebrales de la dislexia. Desde la década de 1950, se ha descubierto que se repite dentro de las familias. Es por esto que se han realizado varios estudios genéticos en cientos de familias, especialmente en la Univer-

sidad de Colorado, a cargo de John DeFries y sus colaboradores. Estos resultados confirman que las habilidades lectoras son genéticamente heredables. Los gemelos, que comparten en esencia el mismo material genético, tienen resultados que se correlacionan mucho más que los de los mellizos del mismo sexo, que comparten sólo la mitad de su historial genético. Dentro de una familia, si un niño sufre de dislexia, sus hermanos tienen un 50% de posibilidades de ser disléxicos también.

A pesar de que los científicos hoy creen que la dislexia a menudo tiene una base genética, sin dudas no se trata de una enfermedad “monogénica”, vinculada con la mutación de un único gen. Existe un rango de factores de riesgo y un grupo de genes que conspiran colectivamente para afectar la adquisición de la lectura. No es sorprendente encontrarse con que muchos genes contribuyen a una habilidad cultural como la lectura. La lectura experta depende de una combinación fortuita de conexiones cerebrales que, por suerte, preexisten en nuestros cerebros de primates y que luego de años de entrenamiento pueden reconvertirse para un nuevo uso. Un percance en el circuito es suficiente para detener el frágil proceso de reciclaje neuronal.

Problemas fonológicos

A pesar de que existe una considerable cantidad de investigación sobre este tema, recién ahora empieza a emerger un consenso acerca de la naturaleza precisa de la dislexia. Varios resultados parecen indicar una anomalía en el procesamiento fonológico de los sonidos del habla (Ramus, 2003; Vellutino, Fletcher, Snowling y Scanlon, 2004). Además de esto, y tal vez de forma más controvertida, también está comenzando a definirse una subcategoría más pequeña de niños disléxicos con déficits de atención espacial (para una revisión de la hipótesis del déficit de atención espacial, véanse Valdois, Bosse y Tainturier, 2004; Bosse, Tainturier y Valdois, 2007).

La investigación moderna sobre la dislexia comenzó en la década de 1970, con los primeros estudios psicológicos minuciosos sobre este déficit. Si bien el objetivo de la lectura es comprender oraciones y textos completos, rápidamente quedó claro que lo que afectaba a los disléxicos no dependía de este nivel más alto. Incluso cuando se les pedía a estos niños que leyeran una palabra sola, aparecían errores y su lectura se volvía drásticamente más lenta. No sorprendió que aquellos que sufrían de un déficit de reconocimiento de palabras también experimentarían

dificultades severas en la comprensión de oraciones y de textos. Como consecuencia, un problema en el nivel de procesamiento de las palabras parecía explicar el rango completo de dificultades que se ve en los disléxicos. Con el paso del tiempo, esta observación simple llevó a la desaparición de algunas de las explicaciones más complejas de la dislexia, que atribuían el problema a una anomalía en los movimientos oculares o a un uso inadecuado del contexto oracional. Gradualmente, la investigación en dislexia llegó a enfocarse en los mecanismos más profundos del procesamiento de las palabras.

En los comienzos del siglo XX, los pioneros de la dislexia Morgan, Hinshelwood y Orton la consideraban una patología esencialmente visual, una forma de “ceguera congénita para las palabras”. Creían que el sistema visual del disléxico confundía las letras. Esto era cierto específicamente para aquellas que son simétricas, como “q” y “p” o “b” y “d”. Muchas personas, de hecho, siguen considerando la dislexia como un tipo de torpeza visual: en el próximo capítulo veremos que para algunos niños esta descripción tiene algo de cierto. Sin embargo, la investigación actual ya no le da mucho crédito. La atención se ha vuelto hacia el rol clave de la decodificación fonológica. La mayoría de los niños disléxicos parece sufrir de un déficit peculiar que afecta la conversión de los símbolos escritos en sonidos del habla. Por este motivo, una de las pruebas más sensibles utilizadas para separar a los disléxicos de los lectores normales requiere leer pseudopalabras sin significado como “cochar” o “liumagon”. Incluso luego de años de práctica, algunos niños todavía se confunden al leer este tipo de cadenas. Aun si finalmente lo logran, su lectura es muy lenta: algunos niños requieren más de 300 milisegundos por letra. Esta velocidad es comparable a la de los adultos con alexia pura por lesiones del área tétoro-occipital de la caja de letras (Zoccolotti y otros, 2005).

La dislexia, por tanto, parece ser un déficit de la lectura que puede reducirse a un problema en la decodificación de las palabras, debido a una alteración en la conversión de grafemas en fonemas. Este análisis en cascada se puede llevar un poco más allá. Hoy en día, la comunidad científica en general está de acuerdo en que la dificultad del disléxico para la conversión de letras en sonidos tiene un origen más básico. La mayoría de los niños disléxicos parece sufrir de un déficit en el procesamiento de los fonemas, los constituyentes elementales de las palabras habladas. De algún modo, esta es una idea revolucionaria: un problema que parece estar restringido a la lectura en realidad se originaría en déficits sutiles en el procesamiento del habla.

Si bien a primera vista esta conclusión parece apenas creíble, la sustenta una variedad de datos convergentes. Cuando se los compara con niños normales, los disléxicos suelen tener problemas en las pruebas de conciencia fonológica. Las dificultades se observan normalmente en los juicios de rimas (por ejemplo, ¿*tala* y *mala* riman?), en la segmentación de palabras en los fonemas que las componen (por ejemplo, separar *gato* en *g*, *a*, *t*, *o*), y en la recombinación mental de los sonidos del habla para formar nuevos spoonerismos (por ejemplo, transformar “cana roja” en “rana coja”).⁵²

Es cierto que varios de estos estudios dan vueltas en círculos, porque se sabe que la conciencia fonológica mejora a medida que aprendemos a leer. La adquisición del principio alfabético, o la comprensión de que cada letra o grafema se debe proyectar en un fonema, tiene un gran impacto en nuestra habilidad para manipular mentalmente los fonemas. Este aspecto, como vimos antes en el capítulo 5, está subdesarrollado en los adultos analfabetos. La conciencia fonológica es un área en la que es muy difícil separar las causas de las consecuencias (Castles y Coltheart, 2004). ¿Los niños se vuelven malos lectores en parte porque tienen problemas para procesar los fonemas? ¿O es que su conciencia fonológica está disminuida porque todavía no aprendieron a leer? Parece que sobre los niños disléxicos se cierra un círculo vicioso.

Esta circularidad lógica se puede prevenir, sin embargo, si se monitorea el desempeño de los niños a lo largo de varios años. Existen estudios longitudinales que indican que incluso cuando se mide la competencia fonológica antes de la edad escolar, esta puede predecir los resultados futuros en la lectura. En Finlandia se realizó un estudio de especial interés sobre este tema (Leppanen y otros, 2002; Richardson, Leppanen, Leiwo y Lyytinen, 2003; véanse también Benasich y Tallal, 2002; Maurer, Bucher, Brem y Brandeis, 2003). Heikki Lyytinen y sus colegas midieron la competencia de los niños disléxicos desde el nacimiento, hazaña asombrosa, ya que a esta edad tan temprana nadie puede saber si un niño luego sufrirá de un déficit en la lectura. La técnica suponía entrevistar a varios cientos de mujeres embarazadas para evaluar la proclividad familiar a la dislexia. Incluso antes del nacimiento, los niños podían

52 Este descubrimiento, que se remonta a finales de la década de 1970 (véanse, por ejemplo, Liberman y otros, 1971; Bradley y Bryant, 1978, 1983; Fischer, Liberman y Shankweiler, 1978) se ha replicado y extendido muchas veces. Para referencias detalladas, véase la bibliografía.

clasificarse en dos categorías, el grupo en riesgo y el grupo control, cada uno compuesto por aproximadamente cien niños.

Una vez cada seis meses, desde el nacimiento, se evaluaba y se entrevistaba a todos los niños. Una vez que llegaron a la edad de siete años, la edad oficial a la que comienza la adquisición de la lectura en Finlandia, se volvió evidente que algunos de los niños en riesgo (pero no todos) tuvieron efectivamente grandes dificultades. En este punto era posible volver a las primeras evaluaciones y buscar las claves que, incluso en el primer año de vida, predecían quiénes serían los potenciales disléxicos. Una prueba de discriminación auditiva resultó ser particularmente reveladora. En finlandés, la diferencia entre *ata* (con una consonante breve) y *atta* (con una consonante larga) marca un límite categorial. Separa palabras tan diferentes como *bote* y *dote* en español. A la edad de seis meses, la detección de este contraste ya estaba menos marcada en el grupo en riesgo. Los bebés nacidos de padres disléxicos necesitaban que las duraciones de las consonantes fuesen más largas para poder descubrir la diferencia entre una consonante y la otra. Los registros de los potenciales cerebrales también mostraron una anomalía en la región temporal izquierda del lenguaje que resultó predictiva de las dificultades en la lectura que luego aparecieron.

Estos estudios revelan que existe un vínculo sólido entre las habilidades fonológicas tempranas y la facilidad con que se adquirirá luego la lectoescritura. La mayoría de los niños disléxicos parece sufrir, sobre todo, de una representación incorrecta de los sonidos del habla. El funcionamiento pobre en este nivel hace que no se puedan procesar con precisión las palabras habladas y, por consiguiente, que no se las pueda emparejar con símbolos visuales. En algunos niños, la alteración del habla es tan drástica que el diagnóstico puede ser diferente. Los pediatras ya no hablan de dislexia, sino de disfasia o de trastorno específico del lenguaje. Sin embargo, como estos niños tienen dificultades en el procesamiento de los fonemas, también tienden a sufrir de un déficit severo en la lectura.

Es importante preguntar si los niños disléxicos sólo sufren de alteraciones que afectan el procesamiento de los sonidos del habla o si tienen dificultades incluso más básicas en la percepción auditiva. Varios estudios sugieren que muchos disléxicos (pero no todos) se ven afectados por ambos problemas, pero este punto todavía es muy controversial. Por ejemplo, la percepción categorial del habla con frecuencia se encuentra afectada. Para muchos niños es difícil detectar el fino matiz que diferencia las sílabas *ba* y *pa*. En varios estudios, el déficit también se extiende

más allá del lenguaje (Ahisar y otros, 2000; Temple y otros, 2000; Breier y otros, 2001; Cestnick, 2001; Breier, Gray, Fletcher, Foorman y Klaas, 2002). La discriminación de tonos puros, la detección de una breve pausa en el sonido, y en especial la atención al orden de una secuencia auditiva rápida pueden notarse muy afectadas. En algunos estudios, quedó de manifiesto que estos signos se correlacionaban muy bien con los resultados en lectura. Incluso la percepción visual del orden temporal puede estar alterada. Por último, se han informado ocasionalmente déficits visuales básicos, por ejemplo, para el movimiento o para la percepción de contrastes (Eden y otros, 1996; Demb, Boynton y Heeger, 1997, 1998; Demb, Boynton, Best y Heeger, 1998).

En resumen, el diagnóstico de la dislexia a menudo está enterrado en una montaña de alteraciones visuales y auditivas asociadas. El problema con estas dificultades relacionadas es que pueden no tener un rol causal. Los déficits sensoriales pueden simplemente coocurrir con la dislexia porque la patología cerebral subyacente abarca varios ámbitos. ¿Qué deterioros asociados son una coincidencia y cuáles tienen un genuino rol causal en la alteración de la adquisición de la lectura? Este punto todavía divide a la comunidad científica. Aún es extremadamente difícil poner en orden las causas, consecuencias y asociaciones fortuitas de la dislexia.

Los déficits básicos en el procesamiento del sonido pueden parecer fundamentales en tanto su rehabilitación tiende a mejorar la lectura. Un equipo finlandés diseñó una técnica correctiva no verbal donde los niños juegan un simple juego audiovisual en la computadora (Kujala y otros, 2001). En cada ensayo, escuchan una serie de sonidos que varían en tono, duración e intensidad. Tienen que decidir qué forma visual representa mejor cada sonido. Por ejemplo, una serie de sonidos ascendentes se puede vincular con una fila de rectángulos de altura creciente. Luego de entrenarse por sólo diez minutos diarios, dos días a la semana, por un período de siete semanas, se vio que los resultados en reconocimiento de palabras de los niños con dificultades en la lectura mejoraban de forma espectacular en comparación con aquellos de un grupo control que no había tenido ningún tipo de entrenamiento.⁵³ Esta innovadora técnica

53 Desafortunadamente, el grupo control no parece haber recibido ningún tipo de entrenamiento. Entonces, los niños en el grupo tratado tal vez sólo se hayan beneficiado de tener entrenamiento con computadoras y atención no específica. Para comprobar si el emparejamiento audiovisual no verbal

terapéutica se parece al entrenamiento en notación musical, en el que los niños aprenden a proyectar secuencias de notas en series de sonidos. Es interesante que, aunque los estudios bien diseñados sobre este tema específico todavía son escasos, el entrenamiento musical temprano parece tener un impacto positivo en los resultados en lectura (véase la revisión reciente de Tallal y Gaab, 2006).

A pesar de estos avances, aún se debate mucho si *todos* los niños disléxicos sufren de déficits fonológicos y si estos, a su vez, se reducen a déficits sensoriales de nivel más bajo (dos presentaciones sumarias recientes de este debate constan en Ramus, 2003; Tallal y Gaab, 2006). Parte de la confusión quizá provenga de que una actividad tan compleja e integrada como la lectura necesariamente está en la intersección de múltiples cadenas causales. Por eso, se ha propuesto gran variedad de bases hipotéticas para la dislexia. Las sugerencias alternativas van desde un daño en la automatización de habilidades adquiridas (una competencia que involucra al cerebelo)⁵⁴ hasta una desorganización de la vía neural "magnocelular" (que transmite información visual, temporal y auditiva rápida) (Galaburda y Livingstone, 1993; Demb y otros, 1997; Demb, Boyton y Heeger, 1998; Demb, Boynton, Best y Heeger, 1998; Stein, 2001). Estas teorías plantean que el déficit central en la dislexia excede por mucho la esfera del procesamiento fonológico. El déficit en la lectura es simplemente el árbol que tapa un bosque de alteraciones en la automatización sonora o la percepción rápida.

Los descubrimientos recientes del investigador francés de la dislexia Franck Ramus y sus colaboradores, sin embargo, no concuerdan con esta visión amplia de la dislexia. Reafirman que, cualquiera sea su causa biológica final, en el origen de la mayoría de las dislexias reside un déficit central en el procesamiento fonológico. Los niños disléxicos bien

realmente es útil para los niños disléxicos, este estudio necesita que se lo replique con un diseño mejorado.

54 Nicholson, Fawcett y Dean (2001). En efecto, se encontraron anomalías anatómicas en el cerebelo en algunos estudios de grupo de niños disléxicos (Eckert y otros, 2003; Brambati y otros, 2004). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la teoría cerebelar no necesariamente está en conflicto con un origen fonológico para la dislexia. El cerebelo es, literalmente, un "cerebro pequeño" dentro del cerebro, y está conectado prácticamente con todas las regiones corticales importantes. Eso equivale a decir que contribuye con prácticamente todas las funciones cognitivas, incluido el procesamiento del habla, de la fonología y de la escritura.

pueden sufrir de déficits concomitantes en las funciones motora, visual o auditiva, pero esto no es verdad para todos los niños y, por tanto, no logra proveer una explicación unificada para los síntomas de la dislexia. De acuerdo con Ramus, sólo el déficit fonológico tiene un vínculo causal con los déficits en la lectura. Incluso si los trastornos adicionales contribuyen a la dislexia como síndrome médico, no pertenecen al núcleo causal que reside en el origen de las dificultades en la lectura (Ramus, Pidgeon y Frith, 2003). Ramus y sus colegas no niegan, sin embargo, que una minoría de los niños disléxicos (aproximadamente uno de cuatro) presenta un déficit visual pronunciado y no tiene un daño fonológico (Ramus, Rosen y otros, 2003; White y otros, 2006. Para ver una exposición clara de una teoría visual de la dislexia, véase Valdois, Bosse y Tainturier, 2004). En el próximo capítulo, nos referiremos a casos en que la dislexia se puede relacionar clara y convincentemente con un origen visual primario.

En conclusión, tal vez deberíamos cuestionar la idea de que exista sólo una causa para la dislexia. El problema al cual nos enfrentamos es complejo, y no se puede reducir con facilidad a una única causa bien definida. En la interfaz entre la naturaleza y la cultura, nuestra habilidad para leer surge de una coincidencia afortunada de un conjunto de circunstancias. La instrucción en la lectura capitaliza la presencia de conexiones eficientes entre los procesadores visuales y fonológicos que son previas al aprendizaje de la lectura. Por eso pienso que es muy probable que la causa de la dislexia sea un déficit conjunto de la visión y el lenguaje. La debilidad en sí misma probablemente esté situada en algún lugar de la encrucijada entre el reconocimiento visual invariante y el procesamiento fonológico. Como ahora voy a exponer, las imágenes cerebrales avalan el planteo de que el quid de la cuestión a menudo está en la interfaz entre la visión y el habla, dentro de la red de conexiones que se encuentra en el lóbulo temporal izquierdo.

La unidad biológica de la dislexia

¿La dislexia es genuinamente una enfermedad neurológica? Apenas diez años atrás, todavía había dudas considerables en torno a esta pregunta. Los pediatras que se veían enfrentados con casos de dificultades del aprendizaje sabían que, en general, era inútil pedir un examen estándar de resonancia magnética porque, a primera vista, con el examen clínico, la anatomía del cerebro en estos casos siempre parecía normal en esen-

cia. Como resultado, los escépticos con frecuencia le echaban la culpa de la dislexia a la enseñanza pobre, a la falta de apoyo de la familia o a una falla en el sistema educativo.

Estas posturas tuvieron que cambiar cuando varias claves convergentes sugirieron que la dislexia es algo que se repite dentro de las familias y está asociada con marcadores genéticos. Esta observación motivó una búsqueda más seria de mecanismos cerebrales que pudieran asociarse con esta dificultad. En la última década, gracias a varios refinamientos metodológicos en las imágenes cerebrales, las bases biológicas de la dislexia finalmente han quedado de manifiesto. Mi amigo Eraldo Paulesu, de la Universidad de Milán, en colaboración con colegas ingleses y franceses, coordinó uno de los estudios de imágenes cerebrales más concluyentes hasta la fecha, que fue un notable aporte a la forma en que hoy entendemos la dislexia (Paulesu y otros, 2001).

El grupo de Paulesu, que tenía su base en Milán, tomó como punto de partida lo que parecía ser una paradoja: la dislexia casi nunca se diagnostica en Italia. Sus colaboradores franceses también notaron que la patología parece ser menos frecuente en Francia que en el Reino Unido o en los Estados Unidos. A primera vista, estas observaciones podían poner en duda los orígenes biológicos universales del síndrome. Los italianos se preguntaron si la dislexia simplemente era una etiqueta cultural inventada por la medicina anglosajona. Se preguntaron si se aplicaba solamente a un pequeño grupo marginal de niños que se veían sobrepasados por la opacidad de la ortografía inglesa o francesa combinada con una enseñanza pobre.

Paulesu y sus colegas se dieron cuenta de que estas preguntas podían verse de otro modo. Se podía proponer una teoría alternativa: en todos los países, la misma proporción de niños sufre de una predisposición genética a la dislexia, pero sus síntomas sólo aparecen en algunas culturas. ¿Era concebible que la dislexia sólo se volviese un problema de gran alcance en los países cuyos sistemas de escritura eran tan opacos que hacían mayor énfasis en los circuitos del cerebro que conectan la visión a la lengua?

Con esta pregunta en mente, Paulesu comenzó una búsqueda activa de italianos adultos que hubieran sufrido dificultades severas para aprender a leer. Luego de someter a casi mil doscientos estudiantes italianos a pruebas estandarizadas, se quedó con dieciocho de ellos, que estaban en el extremo más bajo de la escala y podían considerarse verdaderos disléxicos. En la superficie, no estaba claro que tuvieran una dificultad. Sus habilidades de lectura excedían de forma considerable

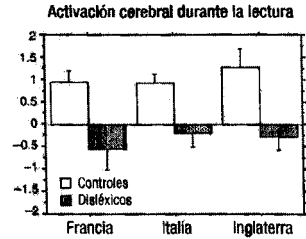
las de los disléxicos franceses e ingleses. Podían leer palabras y pseudopalabras en voz alta, aunque de forma algo lenta. Sin embargo, cuando se los comparaba con lectores italianos normales, sus resultados eran tan anormales como los de los grupos de disléxicos franceses e ingleses en comparación con los de los sujetos control de sus respectivos países.

Una vez que los tres grupos de disléxicos italianos, franceses e ingleses se habían formado, la única pregunta que quedaba era si sus cerebros compartían rasgos que los distinguían sistemáticamente de los lectores normales. Con este objetivo en mente, Paulesu y sus colegas visualizaron su actividad cerebral utilizando tomografía por emisión de positrones (PET). Se les pidió a los sujetos que leyeran palabras blanco que fueran fáciles de leer, incluso para los disléxicos, de manera que el desempeño fuera idéntico en todos los grupos. Una tarea de control consistió en mirar formas geométricas que se parecían a las letras.

La comparación de los disléxicos con sus respectivos grupos control reveló una clara anomalía. Toda una porción de su lóbulo temporal izquierdo no estaba suficientemente activa. Además, esta actividad cerebral reducida se observó en la misma localización y en la misma extensión para todas las nacionalidades (figura 6.1). Los resultados de Paulesu, entonces, sugieren un origen cerebral universal para la dislexia, al menos para los sistemas de escritura alfabéticos: el lóbulo temporal izquierdo parece estar sistemáticamente desorganizado.

Un estudio reciente desafía estas conclusiones. En él se plantea que los disléxicos chinos sufren de un déficit muy diferente (Siok y otros, 2004). La resonancia magnética sugiere que los niños que tienen dificultades desproporcionadas para leer caracteres chinos exhiben en su mayoría una actividad cerebral reducida en una región bastante diferente a la de Paulesu: la región frontal medial izquierda. Sobre la base de estos resultados, los autores de este estudio llegan a la conclusión de que las redes cerebrales para la lectura y sus patologías varían radicalmente entre las diferentes culturas. Esta conclusión, sin embargo, debería matizarse, dado que los disléxicos chinos también mostraron un descenso de la actividad cerebral en la corteza ténporo-occipital izquierda, a sólo ocho milímetros del pico de anomalía que es común a los disléxicos italianos, franceses e ingleses. La hipótesis de un mecanismo de lectura universal, entonces, parece verse fortalecida, más que debilitada por estos resultados. De forma inexplicable, los autores le restaron importancia a este resultado convergente, y prefirieron poner el acento en la diferencia en la actividad del lóbulo frontal. Sin embargo, ¿por qué esta región sería diferente en los disléxicos chinos? La anomalía

Fisiología de la dislexia



Anatomía de la dislexia

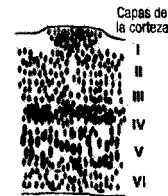
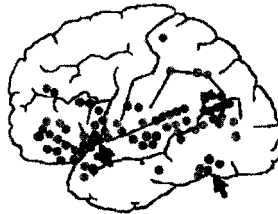
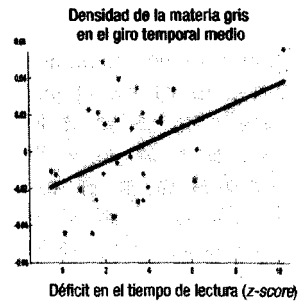


Figura 6.1. En los cerebros de los niños disléxicos pueden verse anomalías funcionales y anatómicas. La activación cerebral se reduce durante la lectura en las regiones media e inferior del lóbulo temporal izquierdo (arriba, tomado de Paulesu y otros, 2001). En los mismos pacientes, se ve un aumento anormal de la densidad de materia gris en la región temporal izquierda media que se correlaciona con el desempeño en la lectura (medio, según Silani y otros, 2005). En los pocos casos en los que se realizó una autopsia, Albert Galaburda y sus colegas (1985) observaron numerosas "ectopias", grupos desorganizados de neuronas que habían migrado más allá de sus capas habituales en la corteza (abajo). Estas anomalías eran particularmente densas en las áreas visuales y verbales que son esenciales para la lectura. Utilizado con permiso de Science y de Oxford University Press.

se encuentra cerca del área de Exner, una región cuyas lesiones en los lectores ingleses llevan a la agrafia, o a la inhabilidad para trazar letras y palabras bien formadas. Aparentemente, lo más difícil para un aprendiz de la escritura china es aprender de memoria sus tres mil caracteres. Para aliviar esta carga, los niños chinos tal vez utilicen en parte la memoria motora de cómo se dibujan los caracteres. Mi hipótesis es que un déficit temprano en el área de Exner puede interferir con la memoria para los gestos de escritura, y quizá provocar las dificultades pronunciadas en la lectura del chino.

En resumen, aunque la lectura depende de vías anatómicas que, en general, son similares en todas las culturas, la sensibilidad a las patologías cerebrales puede ser diferente. Los déficits fonológicos son predominantes en los disléxicos a quienes se les enseña un sistema de escritura alfabético, mientras que puede ser que una forma de dislexia "grafomotora" predomine en los sistemas de escritura asiáticos, incluso si los dos subtipos existen en todos los países.⁵⁵

El sospechoso de siempre: el lóbulo temporal izquierdo

En términos generales, el lóbulo temporal izquierdo sigue siendo el principal sospechoso en nuestra búsqueda de los orígenes biológicos de la dislexia. En esencia, todos los estudios de la dislexia que utilizaron técnicas de imágenes cerebrales notan una reducción de la actividad cerebral en esta área cuando se la compara con la de los lectores normales (Shaywitz y otros, 1998, 2002; Brunswick y otros, 1999; Georgiewa y otros, 1999, 2002; Temple y otros, 2001; McCrory y otros, 2005). En el estudio original de Paulesu, esta disminución de la actividad en el lóbulo temporal se encontró en adultos que habían sufrido déficits lectores durante todas sus vidas. Pero también puede verse una actividad reducida en los niños disléxicos que tienen de ocho a doce años. Es importante destacar que a esa edad el grado de disfunción cerebral se correlaciona con la severidad del déficit lector. Las técnicas de imágenes se han vuelto tan poderosas que medir la cantidad de subactivación en el área de la caja de

55 En concordancia con esta hipótesis, hay por lo menos un caso bien documentado de un niño bilingüe, nacido en Japón de padres angloparlantes, que aprendió a leer en japonés sin ninguna dificultad (tanto en kanji como en kana), pero tiene una dislexia severa en inglés (Wydell y Butterworth, 1999).

letras permite predecir la severidad del déficit lector del niño (Shaywitz y otros, 2002).

Existe otra anomalía que también es frecuente en la dislexia. La corteza frontal inferior izquierda, que aloja el área de Broca, una región crítica para la sintaxis y la articulación, por lo general está hiperactiva cuando los disléxicos intentan leer o realizar una serie de tareas fonológicas (Shaywitz y otros, 1998; Georgiewa y otros, 1999, 2002). Este descubrimiento puede interpretarse como una estrategia compensatoria. Para contrarrestar la insuficiente activación de sus regiones posteriores para la decodificación automática, los disléxicos probablemente participan en estrategias de producción explícita del habla que movilizan el lóbulo frontal: un esfuerzo valiente pero muchas veces infructuoso.

Si se las observa de cerca, las imágenes de Paulesu sugieren que hay dos áreas cercanas que no están suficientemente activas en los cerebros disléxicos (figura 6.1): la corteza temporal lateral izquierda y una región que se encuentra justo debajo de ella, que casualmente coincide bastante bien con el área de la caja de letras. Varios investigadores especulan que la primera área tiene un rol causal en la dislexia, mientras que la segunda no está lo suficientemente activa como resultado de esto, porque los niños nunca hacen la transición a la lectura experta. En efecto, una de las funciones que están asociadas a la corteza temporal lateral es el procesamiento de la información fonológica en el habla (véase, por ejemplo, la figura 2.19). Si se asume que esta área está desorganizada en el nacimiento, se puede proponer que la dislexia se origina por un simple efecto de cascada. El daño temprano de las redes de procesamiento del habla del cerebro explica por qué los déficits fonológicos son tan frecuentes en los disléxicos, incluso antes de que comiencen a leer. Las dificultades desproporcionadas en la conciencia fonológica complican la adquisición del principio alfabético. Estos problemas, a su vez, impactan en el área de la caja de letras del hemisferio izquierdo, que es incapaz de adquirir experticia visual para las palabras escritas. Todo esto explica por qué se observa una segunda caída de la activación, que se deriva de la primera, en esta región.

Este planteo, si bien es posible, resulta discutible. Existe la posibilidad de que la corteza ténporo-occipital, el lugar donde en el futuro aparecerá "la caja de letras del cerebro", esté directamente dañada en algunos niños. Un estudio con imágenes cerebrales sugiere enérgicamente que esta región puede no funcionar de forma correcta en los disléxicos (McCrorry y otros, 2005). Eamon McCrorry y sus colaboradores les presentaron palabras escritas y dibujos lineales a adultos normales y disléxi-

cos y les pidieron simplemente que los nombraran en voz alta. La región t mporo-occipital izquierda, en el lugar exacto donde se encuentra la caja de letras, fue la única parte del cerebro que se notó muy poco activada en los disléxicos. Mostr  actividad reducida, no sólo para las palabras, sino también, sorprendentemente, para las imágenes. En resumen, parecía ser increíblemente disfuncional.

Sin embargo, tampoco en este caso sabemos si ese daño profundo es una consecuencia o una causa de la dislexia. Los lectores expertos desarrollan detectores de intersecciones con forma de T, de L o de Y, y, dado que estas formas se encuentran con frecuencia en los dibujos lineales, es posible que mejoren la respuesta cortical tanto a dibujos como a palabras. Los autores del estudio son partidarios de una explicación más directa. Sostienen que en muchos disléxicos la localización cortical que normalmente se convierte en el área de la caja de letras puede estar precozmente desorganizada. Su desorden puede tener un rol causal en el déficit lector. Este sitio está claramente involucrado en la tarea de relacionar las formas visuales y los sonidos del habla con los significados, y su alteración temprana podría tener un impacto dramático en el desempeño lector. Como el procesamiento de imágenes est  mejor distribuido en la superficie de la corteza que el reconocimiento de cadenas de letras, esta anomalía focal sólo tendría un efecto menor en el reconocimiento y la denominación de imágenes.

El escenario emergente de un déficit doble, tanto visual como fonológico, se ve reforzado por estudios de la secuencia temporal de la activación cerebral en los disléxicos. La magnetoencefalografía, una técnica que mide el curso temporal de la actividad cerebral en la superficie de la corteza, ha revelado dos anomalías sucesivas en la cascada de procesos que van desde la visión hasta el reconocimiento de palabras:

- El procesamiento temprano de las imágenes parece normal (alrededor de 100 milisegundos), pero, un instante después, ya se vuelve visible una anomalía generalizada. Los disléxicos no muestran la fuerte onda t mporo-occipital izquierda, alrededor de los 150 a 200 milisegundos, que indica el acceso a la "caja de letras del cerebro" y señala el reconocimiento visual invariante de las cadenas de letras (Salmelin, Service, K sila, Uutela y Salonen, 1996; Helenius, Tarkiainen, Cornelissen, Hansen y Salmelin, 1999). En los disléxicos, la región t mporo-occipital izquierda no parece ser capaz de reconocer al mismo tiempo todas las letras que constituyen una palabra, una anomalía que explica de inmediato su lectura lenta y la

persistente influencia del número de letras en el tiempo de lectura. Este efecto de longitud con frecuencia sigue estando presente en los disléxicos cuando ha desaparecido en los lectores normales (Zoccolotti y otros, 2005).

- Durante una segunda etapa, alrededor de los 200 milisegundos en adelante, mientras los lectores normales activan rápidamente la corteza temporal lateral izquierda, los disléxicos demuestran lateralización débil de la activación al hemisferio izquierdo. Su actividad cerebral, además, es mucho mayor que lo normal en la región temporo-parietal *derecha* (Simos y otros, 2000; Simos, Fletcher y otros, 2002). Esta anomalía probablemente refleje la falta de acceso rápido a la fonología de las palabras, junto con un uso compensatorio de las vías del hemisferio derecho que no se ven típicamente en los lectores normales.

En resumen, los marcadores de imágenes cerebrales revelan de forma inmediata el cerebro disléxico. Varias áreas clave no están suficientemente activas, tanto en la etapa del análisis visual como en la de la decodificación fonológica.

Migraciones neuronales

El hecho de que podamos ver una reducción en la activación en el cerebro disléxico no significa que comprendamos sus causas. ¿Por qué el lóbulo temporal no se activa en los niveles normales en los niños disléxicos? ¿Las neuronas están dañadas, o tal vez están conectadas de forma anormal? ¿El déficit se encuentra en la organización macroscópica de los tractos de fibra más importantes? A una escala más microscópica, ¿hay una anomalía en las moléculas que se alinean en las neuronas y las membranas sinápticas? En realidad, todas estas hipótesis incluyen algo de verdad (una revisión reciente consta en Habib, 2000; Ramus, 2004; Fisher y Francks, 2006).

Incluso a escala macroscópica, la distribución básica de la corteza y de sus conexiones parece estar desorganizada en los disléxicos. Las resonancias magnéticas anatómicas de los cerebros disléxicos en algún momento parecían normales, pero las refinadas técnicas estadísticas actuales nos permiten detectar daños leves. Una técnica, llamada morfometría basada en vóxel, consiste en cuantificar la cantidad de materia gris en cualquier punto de nuestra corteza: la capa que contiene

los cuerpos celulares de las neuronas. Con la resonancia magnética, es posible estimar a grandes rasgos el grosor y los pliegues de la corteza en cualquier punto dado. Cuando el estudio de Eraldo Paulesu utilizó esta técnica en los disléxicos italianos, franceses e ingleses, reveló una profunda desorganización de la corteza temporal izquierda. Los puntos donde se encontró esta alteración coincidían con las localizaciones donde la actividad cerebral era reducida (figura 6.1). Sorprendentemente, aparecieron dos tipos de anomalías: la materia gris estaba reducida en algunos lugares y tenía una densidad anormal en otros. De hecho, el descubrimiento más significativo fue que los disléxicos tenían *más* materia gris que los no disléxicos en el giro temporal medial izquierdo. Cuando se midió a cada sujeto de forma individual, el tamaño de esta anomalía predijo muy bien la severidad del déficit de velocidad de lectura.⁵⁶

¿Por qué el exceso de materia gris es un problema? La resonancia magnética no es lo suficientemente precisa para revelar los mecanismos biológicos subyacentes, pero los estudios de autopsia post mortem de adultos que casualmente eran disléxicos echaron luz sobre este tema. Ya en 1979, el neurólogo americano Albert Galaburda, en la Harvard Medical School, examinó el cerebro de un disléxico de veintidós años y, luego, los de algunos otros pacientes (Galaburda y otros, 1985). Descubrió que su corteza contenía numerosas “ectopias”: una palabra técnica de origen griego que significa que las neuronas no estaban ubicadas de forma correcta. Durante el embarazo, las neuronas tienen que recorrer distancias considerables en el cerebro del feto. Las

56 Silani y otros (2005). Resultados parcialmente similares constan en Vinckenbosch, Robichon y Eliez (2005); Brown y otros (2001); Brambati y otros (2004). Si bien me concentro fundamentalmente en las anomalías del lóbulo temporal, la literatura revela anomalías anatómicas tanto más complicadas. Se reportó una gran diversidad de déficits, que desafortunadamente no siempre se replicaron: las asimetrías en el lóbulo temporal y en el cerebelo, la poca densidad de materia gris en la región frontal inferior izquierda, el lóbulo parietal inferior, el cerebelo derecho... (véanse, por ejemplo, Brown y otros, 2001; Eckert y otros, 2003; Eckert, 2004). Comparto la opinión de Eraldo Paulesu cuando afirma, junto con G. Silani, que estas observaciones “pueden ser relevantes para la dislexia como síndrome neurológico y la distribución de la patología subyacente, pero tal vez menos informativas acerca de cuál anomalía morfológica es relevante para el síndrome neuropsicológico central de la dislexia”. Véase también Vinckenbosch, Robichet y Eliez (2005).

neuronas migran en manada desde la zona germinal –que se encuentra alrededor de los ventrículos, donde se forman por división celular– hacia su posición final en las diferentes capas de la corteza. La división neuronal y la migración son pasos críticos en el desarrollo de un cerebro normal, y es en este preciso momento cuando el cerebro del feto es más sensible a los patógenos como el alcohol. En muchos disléxicos, la migración neuronal parece malograda. Con la autopsia, Galaburda descubrió montones desordenados de neuronas en la superficie de la corteza. Era como si hubieran viajado más allá de su posición normal y se hubieran estrellado. En otros lugares, las seis capas de células corticales estaban mal formadas (“displasia”) o formaban pliegues muy pequeños (“microgiros”), lo que sugería que las neuronas nunca habían llegado a sus metas apropiadas. Por último, algunas de las cisuras del cerebro habían perdido su asimetría normal, un rasgo que, según se presume, tiene un rol esencial en la especialización funcional del hemisferio izquierdo para la lengua.

Galaburda sostiene que las anomalías en la migración neuronal son frecuentes en el cerebro disléxico. Su efecto “salpicado” –demasiadas neuronas por aquí, muy pocas por allí– podría explicar el mosaico macroscópico de la densidad de materia gris engrosada o reducida que descubrieron Paulesu y sus colegas en las resonancias magnéticas anatómicas. Por razones desconocidas, las neuronas que están mal ubicadas tienden a acumularse alrededor de las áreas cerebrales involucradas en el procesamiento del habla. También se agrupan alrededor del área t́emporo-occipital izquierda, “la caja de letras del cerebro”, que tiene un papel esencial en el reconocimiento visual de palabras (figura 6.1). De estos elementos surge un escenario coherente: estas áreas, salpicadas de neuronas mal posicionadas, no pueden funcionar de manera óptima y causan los sutiles defectos fonológicos y visuales asociados con la dislexia.

Es natural que uno espere que la desorganización de la distribución básica de las neuronas corticales tenga también un impacto en sus conexiones. Esto es exactamente lo que revelaron los estudios de resonancia magnética. Todos los estudios de la conectividad cortical, que provienen de diferentes laboratorios y utilizan una variedad de métodos, muestran una alteración profunda. Un conjunto reducido de haces de fibras, situado bajo la región t́emporo-parietal del hemisferio izquierdo (figura 6.2), siempre está dañado en los disléxicos (Klingberg y otros, 2000; Beaulieu y otros, 2005; Deutsch y otros, 2005; Silani y otros, 2005; Niogi y McCandliss, 2006). La cantidad de desorganización de las co-

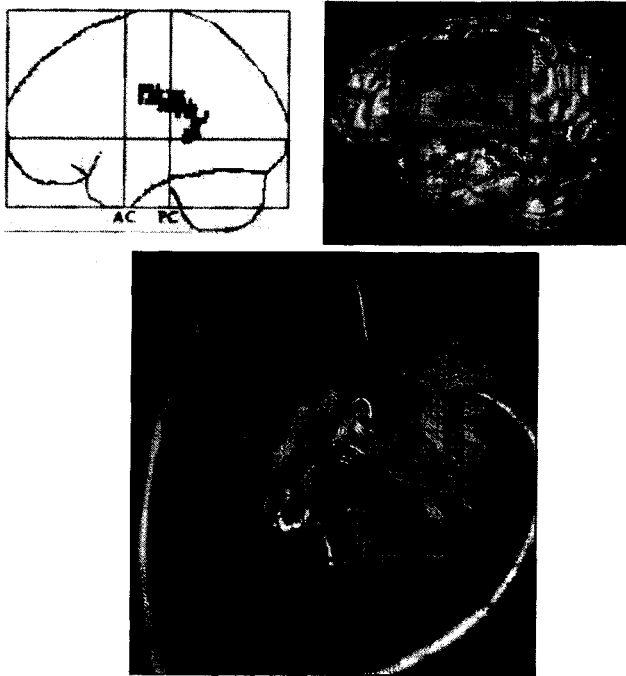


Figura 6.2. Las conexiones corticales de larga distancia están alteradas en la dislexia. Varios estudios independientes han revelado una desorganización de los haces de fibras que están localizados en las profundidades de la región ténporo-parietal izquierda (izquierda, Klingberg y otros, 2000; derecha y abajo, Beaulieu y otros, 2005). *Utilizado con permiso de Neuron y Neuroimage.*

nexiones corticales en esta localización cerebral predice los resultados en lectura no sólo para los disléxicos, sino incluso en una población de lectores normales. Desafortunadamente, la limitada resolución espacial que tienen las imágenes cerebrales actuales no nos permite señalar las áreas corticales exactas que conectan estos haces defectuosos. No obstante, el hecho de que estén precisamente debajo de las regiones temporales menos activadas fortalece la hipótesis de que en los disléxicos la región temporal izquierda está desconectada parcialmente del resto del cerebro. Como no logra enviar información lingüística al resto del

cerebro, y, de forma particular, a la región frontal inferior izquierda, este tipo de desconexión causa una importante alteración en el flujo de información.⁵⁷

El ratón disléxico

El siguiente paso lógico sería un análisis minucioso de la detallada organización de las neuronas temporales izquierdas con un microscopio, o el registro de su actividad con microelectrodos, pero, por supuesto, con un humano la investigación invasiva de este tipo es algo prácticamente imposible. Para superar este obstáculo, Albert Galaburda decidió recurrir al cerebro del roedor.

La idea de buscar las causas de la dislexia en ratas y ratones parecía, al principio, totalmente absurda. De hecho, no faltaban las bromas sobre los estudios de Galaburda: ¡“un científico del cerebro descubre un déficit lector en los ratones”! Sin embargo, esta novedosa estrategia de investigación llevó a algunos de los avances más significativos en la neurobiología de la dislexia.

La idea de Galaburda era reproducir en los animales las anomalías en la migración neuronal que se habían visto en los humanos. Predijo correctamente que esto arrojaría luz sobre los mecanismos y las consecuencias de la dislexia. Para provocar los defectos en la migración similares a aquellos del cerebro disléxico, Galaburda y sus colegas desarrollaron un método original: congelaron pequeñas regiones de la corteza de la rata joven. Esta intrusión perturbó el andamiaje de las células de soporte, conocidas como células gliales, que guían y frenan las neuronas cuando migran. Entonces, aparecieron montones desorganizados de neuronas (ectopias) en las ratas congeladas en el lugar donde las neuronas habían migrado más allá de su localización cortical normal. Según lo esperado, Galaburda contaba en ese momento con un modelo animal, no sólo de la dislexia, sino también de una de sus posibles causas subyacentes.

57 Paulesu y otros, 1996. Alternativamente, el haz de fibras afectadas puede ser una proyección vertical que sale de la corteza (Beaulieu y otros, 2005; Niogi y McCandliss, 2006), tal vez relacionada con los déficits de articulación motora o con una capacidad reducida para los movimientos finos de la escritura a mano.

Esta alteración de los cerebros de las ratas jóvenes produjo una cadena de consecuencias inesperadas. Localmente, la desorganización cortical provocó descargas neuronales anormales. Estas ondas cerebrales perturbadas se convirtieron en una epilepsia. Para mayor sorpresa, se encontraron efectos a una gran distancia de las lesiones originales. No tenía gran importancia dónde se había producido la lesión inicial: todas las lesiones corticales produjeron un contragolpe en el centro del cerebro, en los núcleos sensoriales del tálamo. Esta área contiene una gran cantidad de circuitos, uno de ellos compuesto por neuronas sensoriales que transmiten información visual y auditiva. En las ratas, las neuronas más grandes del tálamo, que pertenecían al circuito sensorial conocido como vía "magnocelular", se extinguieron a una velocidad más rápida que lo normal. En pocas palabras, los déficits corticales parecidos a la dislexia aceleraron la muerte cerebral en el tálamo.

En un ingenioso ida y vuelta entre su modelo animal y el cerebro humano, Galaburda y sus colegas volvieron a su banco de cerebros extraído de los disléxicos humanos fallecidos. En lugar de la corteza, esa vez pusieron bajo la lente del microscopio el tálamo y descubrieron una desorganización comparable a la existente en una rata. En los disléxicos, si se los compara con adultos humanos normales, el núcleo auditivo del tálamo izquierdo contiene demasiadas neuronas pequeñas y demasiado pocos cuerpos celulares grandes (Galaburda, Menard y Rosen, 1994). Los investigadores se preguntaron si estas anomalías podían explicar los déficits sensoriales que a menudo se encuentran en los disléxicos. Entonces volvieron a los animales para diseñar pruebas conductuales refinadas que develaron más paralelos entre los humanos y las ratas. Comparadas con las ratas normales, las ratas congeladas no eran sensibles al orden temporal de dos sonidos breves. También eran incapaces de detectar una pequeña pausa entre una serie de sonidos: déficits auditivos básicos muy similares a los reportados en los disléxicos.

Una sorpresa todavía mayor esperaba a Galaburda y su equipo. Las anomalías que descubrieron se encontraban en su mayoría en las ratas macho. En las hembras, la misma lesión cortical inicial no causaba muerte celular en el tálamo ni déficits sensoriales. Las manipulaciones hormonales mostraron una explicación posible: la testosterona, que está más concentrada en los machos, amplificaba los efectos distantes de las lesiones corticales en el tálamo. Aquí, otra vez, existe una analogía potencial entre las ratas y la especie humana. Si bien todavía esta cuestión todavía es objeto de debate, la dislexia parece ser más frecuente en los

hombres que en las mujeres. El efecto de testosterona de Galaburda sobre la muerte de las neuronas del tálamo podría ser el factor decisivo.

Con el modelo animal como guía, es factible una predicción aún más sutil para los disléxicos humanos. Los déficits fonológicos en sí mismos, que se originan en lesiones corticales, deberían ser igualmente frecuentes en las mujeres y en los varones, pero sólo en los hombres deberían estar compuestos por déficits auditivos y sensoriales ligados al tálamo.

El modelo animal provee una convincente cadena explicativa para la dislexia. La explicación es hipotética pero con un solo movimiento abarcativo puede dar cuenta de los principales rasgos anatómicos y cognitivos del déficit (Ramus, 2004). Este escenario emergente plantea que las alteraciones en la migración de las neuronas corticales crean numerosas anomalías como las ectopias y pliegues corticales minúsculos, en torno al sexto mes de embarazo. Las malformaciones corticales se concentra a modo de salpicadura, mayoritariamente en las áreas del lenguaje, y estas anomalías debilitan las representaciones corticales que serán indispensables para la adquisición del principio alfabético, alrededor de los seis años. En paralelo, y especialmente en los machos, se produce una cascada de anomalías secundarias en los circuitos sensoriales del tálamo, lo que reduce la precisión con que se codifica la información visual y auditiva.

La genética de la dislexia

Se han hecho avances considerables en la descripción de los mecanismos que subyacen a la dislexia humana. Sin embargo, todavía necesitamos comprender qué causa las anomalías iniciales en la migración neuronal que se supone que originan esta discapacidad. Hace más de diez años, Albert Galaburda alteró la corteza de forma artificial congelándola. En los humanos, las anomalías genéticas tal vez tengan el mismo rol inductor.

En los últimos años de la década de 1990, Galaburda y sus colegas alcanzaron un gran logro genético. A través de la cría selectiva, crearon un linaje de ratones que desarrollaron de forma espontánea grupos de neuronas corticales desorganizadas (ectopias). Este fue el primer paso hacia el esclarecimiento de los mecanismos genéticos que controlan la migración neuronal.

En paralelo, la investigación sobre el genoma humano llevó a la creación de grandes bases de datos sobre los disléxicos. Al cruzar información genética con los resultados de muchas pruebas cognitivas,

se “vincularon” con la dislexia seis vastas regiones del genoma humano, en los cromosomas 1, 2, 3, 6, 15 y 18. ¿Qué significa este vínculo? A grandes rasgos, sugiere una anomalía estadística en la transmisión de porciones de ADN. Algunas partes del genoma parecen puntos clave que tienden a transmitirse con más frecuencia en los disléxicos que en la población en general. Este descubrimiento sugiere, de forma indirecta, que estas secuencias de ADN contienen genes que podrían provocar la dislexia.

El genoma humano contiene tres billones de pares de bases: las “letras” A, T, G y C, que hacen referencia a los nucleótidos adenina, timina, guanina y citosina. La mayoría de las letras es estable en las especies humanas, pero millones de ellas varían y configuran la firma genética que nos vuelve únicos a cada uno de nosotros. Como resultado, descubrir las variantes exactas que nos predisponen a la dislexia es bastante parecido a buscar una aguja en un pajar. El ADN de cientos de familias con hijos disléxicos, a lo largo de varias generaciones, ha contribuido a refinar progresivamente la localización de los genes relevantes. En 2003, un equipo finlandés descubrió el primer gen candidato serio para la propensión a la dislexia, llamado *DYX1C1*, en el cromosoma 15, y entre 2004 y 2005 otros tres genes. Los bautizaron *KIAA0319* y *DCDC2* (ambos en el cromosoma 6) y *ROBO1* (en el cromosoma 3) (para acceder a un mapa de esta fascinante caza genética, véanse Grigorenko, 2003; Fisher y Francks, 2006; Galaburda, Lo Turco, Ramus, Fitch y Rosen, 2006). Todavía quedan, probablemente, muchos otros genes de predisposición por descubrir.

Si un número de genes tan grande se encuentra involucrado, probablemente sea porque todos contribuyen en parte a las complejas operaciones que ensamblan los circuitos corticales en las numerosas regiones que son esenciales para la lectura. La construcción de una red tan complicada se puede comparar con erigir un rascacielos. Docenas de arquitectos y contratistas trabajan en el proyecto y un error de cualquiera de ellos puede poner en riesgo el edificio entero. Un arquitecto, por supuesto, trabaja en varios proyectos al mismo tiempo. De la misma forma, ningún gen se dedica exclusivamente a la lectura, ni siquiera a la fonología (¡recordemos que en los ratones existen variantes de todos estos genes!). Sin embargo, algunos tienen un papel clave en asegurar la solidez del edificio. Si su arquitectura es osada y su estructura es débil —como sucede con la lectura de una ortografía alfabética tan complicada como la del inglés o la del francés— cualquier error puede hacer que colapse todo el proyecto.

En el caso de la lectura, la creación temprana de las redes neuronales para la lectoescritura involucra la migración armoniosa de neuronas corticales hacia la región temporal izquierda, y sus adecuadas interconexiones con las áreas visuales y del lenguaje. La neurobiología ha esclarecido cómo se construye este complicado edificio durante el embarazo. Para conducir a las neuronas migrantes de la zona ventricular a su destino final en la corteza, primero se establece un andamiaje de cables: las células radiales gliales, que son células parecidas a cables que apuntan hacia la corteza. Una vez que este andamiaje está en su lugar, las células gliales se dividen y cada división crea una neurona recién nacida que trepa literalmente por el cuerpo de su madre para alcanzar las alturas de la corteza. Una variedad de moléculas de señalamiento y adhesión controla el “tráfico” de este flujo literal de nuevas neuronas a la corteza.

Un fascinante descubrimiento de estos últimos años es que la mayoría, si no la totalidad, de los genes de propensión para la dislexia tienen un rol esencial en el sitio de construcción cortical. En un esfuerzo para demostrar el papel de estos genes, Joe Lo Turco y sus colaboradores de la Universidad de Connecticut volvieron a estudiar a las ratas. Utilizaron una técnica genética llamada interferencia RNA, que interrumpe momentáneamente la acción de un gen seleccionado y elige con precisión dónde y cuándo ocurrirá esta interrupción (Meng y otros, 2005; Paracchini y otros, 2006). Utilizando esta técnica en útero, dentro de la zona ventricular donde las neuronas nacen en el pico del período de migración, lograron demostrar que tres de los cuatro genes (DYX1C1, DCDC2 y KIAA0319) tienen un papel crucial en la migración neuronal. Cuando estos genes se bloquean, las neuronas no logran migrar lo suficientemente lejos, y producen las ectopias y pliegues minúsculos que caracterizan el cerebro humano disléxico. También hay otros genes involucrados. El gen LIS, por ejemplo, trabaja a la par del DYX1C1. Es tan crucial para la migración que su alteración causa un retraso mental importante debido a la “liscencefalia”, en la que los hemisferios se vuelven lisos por la desorganización de la corteza.

Cuando escribí esto, el rol del cuarto gen asociado con la dislexia, el ROBO1, todavía no se había comprendido totalmente. Se pueden encontrar copias de él en los ratones, en los pollos, e incluso en el género *Drosophila* (moscas de la fruta): controlan el crecimiento de dendritas y axones que conectan las mitades izquierda y derecha del sistema nervioso. En los humanos, la anomalía correspondiente sería una malformación del cuerpo calloso, el haz de conexiones que conecta los dos hemisferios. Como veremos en el próximo capítulo, una patología de

este tipo podría relacionarse con los síntomas visuales de la dislexia. La investigación genética está avanzando rápidamente y, según confío, en el futuro cercano estará disponible una cadena causal completa que conecte los genes al comportamiento disléxico.

Superar la dislexia

A menudo nos preguntan si el creciente conocimiento de los mecanismos biológicos de la dislexia tendrá como resultado nuevos tratamientos. En el corto plazo, temo decir que no está a la vista ninguna cura real para estos déficits cerebrales. Si nuestro conocimiento actual es correcto, la dislexia muchas veces está relacionada con anomalías en la migración neuronal, que ocurren durante el embarazo. Hoy en día, es esencialmente imposible abordarla utilizando un clásico enfoque medicinal o la más innovadora terapia de genes.

Cuando dicto conferencias sobre la lectura y sus déficits, en general puedo localizar a los padres de niños disléxicos. Muchos de ellos viven cada avance científico como una puñalada traspera que no les trae otra cosa que malas noticias con relación a las carencias de sus hijos: materia gris desorganizada, una corteza temporal que no logra activarse, neuronas que no migran correctamente, genes anómalos... Cada uno de estos descubrimientos biológicos suena como una condena perpetua.

Los maestros, por otro lado, suelen reaccionar con una mezcla paradójica de desaliento y alivio. Cuando escuchan que la dislexia se debe a anomalías en el cerebro, muchos llegan a la conclusión de que ellos no tienen la capacidad de lidiar con problema. Está fuera de su radio de acción. Frente a estas evidencias, ¿cómo puede un maestro de escuela, para quien ya es difícil enseñarles a leer a los niños normales, encarar un déficit cerebral que comenzó antes del nacimiento? Interferir en el cerebro no parece ser parte de su trabajo.

Si bien puedo empatizar con estos sentimientos de abatimiento, están totalmente errados. Delatan dos ideas equivocadas muy frecuentes acerca del desarrollo cerebral. La primera consiste en pensar que biología es sinónimo de rigidez, como si los genes dictaran leyes inalterables, invulnerables que gobernarán nuestros organismos por el resto de nuestras vidas. ¿Pero realmente estamos indefensos frente al gen todopoderoso? Este razonamiento está profundamente equivocado. Pensemos en la miopía, otro severo trastorno genético que afecta a millones de personas, que se puede eliminar con el destello de un láser o con un par de

anteojos. No es inconcebible que para la dislexia tengamos a nuestro alcance un equivalente cognitivo a los anteojos.

La segunda creencia equivocada es más sutil. Revela una forma de “criptodualismo”: la poderosa pero errónea idea de que la mente y el cerebro pertenecen a dos ámbitos diferentes. Este dualismo suele aparecer en el área de la educación. Incluso quienes están bien informados parecen creer que la terapia del lenguaje, la rehabilitación, el entrenamiento a través de computadoras, la terapia de grupo, y la discusión intervienen en un nivel “psicológico” muy diferente de la cosa de que están hechos los cerebros. ¿Cómo podría cualquiera de estos tipos de terapia ser una cura para una anomalía cerebral prenatal en la composición del cerebro?

En realidad, existe una relación directa uno a uno entre nuestros pensamientos y los patrones de descarga de determinados grupos de neuronas en nuestros cerebros: los estados de mentes *son* estados de materia cerebral. Es imposible afectar uno sin modificar el otro también. ¡Esto no significa que, si pensamos mucho, vamos a ayudar a nuestras neuronas a multiplicarse o a migrar! Lo que quiero decir es que la oposición clásica entre la psicología y las ciencias del cerebro es infundada. Los niveles de organización de la corteza son tan complejos que cualquier interferencia psicológica debe producir repercusiones en nuestros circuitos cerebrales, hasta los niveles celular, sináptico, molecular e incluso de expresión genética. El triste hecho de que cierta patología sea causada por anomalías neurobiológicas microscópicas no implica que el tratamiento psicológico no pueda ayudar... o viceversa. Es más, los vínculos entre los niveles molecular y psicológico son sorprendentemente potentes y directos. Algunos buenos ejemplos son los iones de litio que ayudan a luchar contra la depresión, o las moléculas de clorhidrato de diacetilmorfina, también conocida como heroína, que convierten a un ser humano normal en un maniático ansioso.

Dado todo esto, me gustaría recalcarles a las familias con niños disléxicos que la genética no es una condena a perpetuidad. El cerebro es un órgano “plástico”, que cambia constantemente y se reconstruye y para el cual los genes y la experiencia tienen igual importancia. Las anomalías en la migración de las neuronas, cuando están presentes, afectan sólo a pequeñas partes de la corteza. El cerebro del niño contiene millones de circuitos redundantes que pueden compensarse mutuamente por sus deficiencias. Cada nuevo episodio de aprendizaje modifica los patrones de expresión de nuestros genes y altera nuestros circuitos neuronales, y de esta forma da la oportunidad de sobreponerse a la dislexia y a otros déficits del desarrollo.

Gracias a los avances en la psicología de la lectura, hoy en día se están diseñando mejores métodos de intervención para la lectura. Con las imágenes cerebrales, podemos seguir su impacto en la corteza y chequear si, en efecto, llevan a restaurar las redes necesarias para la alfabetización. En las últimas dos décadas, varios investigadores destacados han diseñado estrategias eficientes de intervención para la dislexia (véase, por ejemplo, Torgesen, 2005). La mayoría de estos programas apuntan a incrementar la conciencia fonológica ayudando a los chicos a manipular letras y sonidos. Por ejemplo, algunas intervenciones les muestran a los chicos pares de palabras similares como “tono” y “bono” y les explican que cambiar una letra de lugar convierte a una palabra en otra. El paso siguiente consiste en mostrar que la misma letra “t”, que convierte “bono” en “tono”, también se puede usar para escribir otras palabras como “toca”, “trazo” o “talón”; y que la letra “b” transforma mágicamente estas palabras en “boca”, “brazo” o “balón”. A través de este tipo de juegos, un niño disléxico puede hacerse cada vez más consciente del fonema *t* y de su correspondencia con la letra “t”. Si no puede oír la diferencia entre los fonemas *t* o *b*, el terapeuta del lenguaje o la computadora lo van a exagerar para que se distinga muy bien. Si se remarcan los contrastes entre los sonidos del habla y se vuelve progresivamente a la pronunciación normal, se puede reentrenar la comprensión de los fonemas.

Nuestro conocimiento de la plasticidad cerebral nos permite comprender qué ingredientes contribuyen a una intervención exitosa. Primero, los esfuerzos deben ser intensos y prolongados, idealmente con breves sesiones de entrenamiento diarias que se extenderán a lo largo de varias semanas. Una gran cantidad de estudios ha demostrado que la plasticidad cerebral se maximiza con el entrenamiento intensivo alternado con períodos de sueño. En segundo lugar, es de gran importancia que se involucren los circuitos de la motivación, de la atención y del placer del niño. Es más, estos sistemas de atención y recompensa tienen una enorme influencia en la velocidad de aprendizaje. Varios sistemas neuromoduladores distribuyen sustancias químicas como la acetilcolina a un amplio rango de sitios corticales. Estos químicos parecen señalar a otros circuitos la importancia de recordar una determinada situación (pensemos, por ejemplo, en esos recuerdos instantáneos que creó una única emoción fuerte, como ¿dónde estabas el 11 de septiembre de 2001?). Los experimentos realizados en animales demuestran que este efecto de modulación puede ser muy importante: cuando un sonido va sistemáticamente de la mano de la activación de las redes de acetilcolina, la superficie de la corteza que está destinada a este sonido específico crece

de modo espectacular hasta que invade literalmente territorios corticales cercanos que están destinados a otros estímulos distractores (Kilgard y Merzenich, 1998). En los niños, maximizar la atención y las emociones positivas puede, del mismo modo, tener un efecto benéfico sobre el aprendizaje.

Una estrategia eficiente consiste en disfrazar la intervención en la alfabetización como un juego de computadora (Merzenich y otros, 1996). Los niños pequeños están fascinados por las computadoras. Es más, el *software* de rehabilitación puede generar miles de situaciones de entrenamiento, a un costo mínimo y sin agotar al terapeuta del lenguaje. Más importante aún, el *software* se puede adaptar a cada niño. Los programas más impresionantes detectan de forma automática el nivel del niño y le proponen problemas adaptados a sus habilidades. El objetivo es apuntar a lo que el psicólogo ruso Lev Vigotski llamó “zona de desarrollo próximo”, donde los nuevos conceptos se pueden aprender al máximo porque son suficientemente difíciles para atrapar al niño, aunque suficientemente fáciles para que se sientan alentados (Wilson y otros, 2006).

Aunque no es una cura milagrosa, la intervención en la alfabetización puede tener un impacto muy positivo. Luego de docenas de horas de entrenamiento, los niños cuyos resultados estaban muy por debajo del nivel normal correspondiente a su edad alcanzan el extremo más bajo de la distribución normal (o, en términos técnicos, sus resultados típicamente suben uno o dos desvíos estándar). Por ende, la mayoría de los niños disléxicos termina leyendo de forma adecuada, incluso si su desempeño todavía está a la zaga del de sus pares. Los beneficios se mantienen a lo largo de varios años. En general, la decodificación de palabras se vuelve más eficiente, pero la fluidez lectora sigue siendo imperfecta: la intervención ayuda a que la mayoría de los niños aprendan a leer, aunque de forma lenta. La exposición reducida a la letra impresa puede explicar este retraso residual. En comparación con otros niños, los disléxicos rehabilitados han perdido varios años de experiencia con los libros. Luego de los años de iniciación, los niños aprenden a leer... ¡leyendo! Entonces, es esencial que los niños no dejen de leer para que sus habilidades de lectura se vuelvan automáticas y enriquezcan su vocabulario visual con grafemas, morfemas y palabras.

Las imágenes cerebrales demuestran el impacto positivo de la intervención cognitiva intensiva. En varios estudios, se ven dos cambios cerebrales importantes: la normalización y la compensación (Kujala y otros, 2001; Simos, Fletcher y otros, 2002; Temple y otros, 2003; Eden y otros, 2004). La actividad reducida en la región temporal izquierda es

particularmente característica del cerebro disléxico. La terapia de intervención permite la recuperación parcial de esta activación. Luego del entrenamiento, prácticamente todos los estudios, ya sean de resonancia magnética o de magnetoencefalografía, han dejado en evidencia una ganancia neta en la activación. También hay reactivación en la “caja de letras”, en la región t mporo-occipital ventral y en la región frontal inferior izquierda que se encuentra asociada a la articulación (figura 6.3).

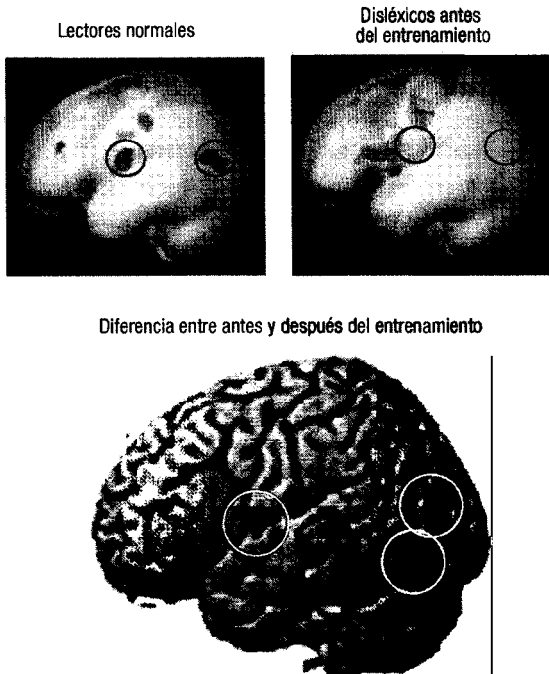


Figura 6.3. La intervención computarizada intensiva puede restaurar parcialmente un patrón normal de actividad cerebral en los niños disléxicos. Las imágenes de activación cerebral muestran que las regiones estaban activas cuando los niños decidian si dos letras rimaban. Luego del entrenamiento, aumentó la actividad en las regiones temporal y parietal cercanas, pero no idénticas a las regiones que se observaron en los niños normales. Otras regiones del hemisferio derecho, que no se pueden ver en esta imagen, también mostraron un aumento de la actividad (tomado de Temple y otros, 2003). *Utilizado con permiso de los Proceedings of the National Academy of Science, Estados Unidos.*

En cada caso, la resonancia magnética funcional sugiere que la recuperación involucra regiones cercanas, pero no idénticas, a las que se ven típicamente en los lectores normales.

Las imágenes cerebrales también revelan efectos de compensación más radicales. Luego de la rehabilitación para la dislexia, la actividad cerebral suele incrementarse en varias regiones del hemisferio derecho, en localizaciones simétricas a las del circuito normal de lectura. Parece probable que, cuando existe un déficit en el hemisferio izquierdo, tomen el control regiones equivalentes del hemisferio derecho. Estas incluyen redes intactas cuya función inicial es suficientemente similar para que también puedan reciclarse para la lectura.

Toda la investigación a propósito de la dislexia tiene un significativo mensaje de esperanza. En sólo unas pocas décadas, ha aclarado la naturaleza del déficit central –un problema fonológico– sus mecanismos neuronales, y cómo compensarlo. Sin embargo, todavía no se han respondido varias preguntas relativas a las variaciones entre los niños: ¿todos los disléxicos tienen el mismo déficit? ¿Uno podría diagnosticar el déficit exacto de cada niño y utilizar la información para ajustar su tratamiento? ¿La investigación actual excluye a subgrupos más pequeños de niños que podrían beneficiarse con un enfoque por entero diferente?

Si bien la información científica recolectada a lo largo de los últimos treinta años suele apoyar la hipótesis fonológica, todavía existen algunas voces que disienten. Resulta sorprendente que una de las técnicas más sensibles para la detección de la dislexia consista en medir la velocidad a la que los niños nombran dígitos e imágenes, una tarea que no se enfoca específicamente en el procesamiento fonológico. En varios grupos grandes de niños, las pruebas de fonología y denominación rápida explican partes separadas de las diferencias en los resultados en lectura; y este descubrimiento implica que, mientras la mayoría de los niños sufre más que nada déficits fonológicos, la dificultad de otros tiene otro origen, tal vez la automatización de los vínculos entre la visión y el lenguaje. En el próximo capítulo, voy a enfocarme en la visión e intentar aclarar por qué tantos niños tienden a confundir las letras que son simétricas, como “p” y “q”.

7. La lectura y la simetría

En el lenguaje corriente, un disléxico es alguien que se confunde la izquierda y la derecha y comete errores en espejo cuando lee. La percepción de la simetría probablemente tenga un rol significativo en la lectura, pero las confusiones de izquierda y derecha no son exclusivas de los disléxicos. En los primeros años de la vida, casi todos los niños cometen errores en espejo cuando leen y escriben. En verdad, la habilidad para generalizar las perspectivas simétricas, que facilita el reconocimiento invariante de los objetos cuando se los ve, es una de las competencias esenciales del sistema visual. Cuando los niños aprenden a leer, deben “desaprender” la generalización especular para procesar “b” y “d” como letras distintas. En algunos niños, este proceso de desaprendizaje, que va en contra de las habilidades espontáneas heredadas de la evolución, parece presentar una fuente específica de deterioro.

Ahora, Kitty, si prestas atención y no hablas demasiado, te contaré todas mis ideas acerca de la Casa del Espejo. En primer lugar, está la habitación que se ve a través del cristal... Es exactamente igual a nuestra sala, sólo que las cosas van en un sentido contrario... Sus libros se parecen a los nuestros, pero las palabras están al revés. Esto lo sé, porque puse uno de nuestros libros frente al espejo, y entonces ellos pusieron uno de los suyos en la otra sala.

Lewis Carroll, *A través del espejo y lo que Alicia encontró allí*

Cuando tenía cinco años, mi hijo Olivier se comportó, durante algunos meses, de una forma muy parecida a un personaje de Lewis Carroll. Su maestra de preescolar le acababa de enseñar a escribir su nombre, y él firmaba con orgullo todas sus obras de arte. Sin embargo, la mitad de las veces, más o menos, sin querer cometía un error bastante extraño: ¡escribía su nombre de derecha a izquierda! Todas las letras estaban ahí, en el orden apropiado, pero estaban invertidas. El resultado era la imagen especular exacta de lo que debería haber escrito: ЯИVLIJO. Esto me inquietaba un poco, aunque estaba orgulloso de que mi hijo pudiera imitar a Leonardo da Vinci. Este comportamiento extraño ¿era una señal de dislexia incipiente?

Cuando investigué la literatura científica sobre este tema, me tranquilicé pero también me quedé desconcertado. Resulta que niños de todo el mundo cometen el mismo error. Sufren de dificultades transitorias para discriminar las letras o las palabras de sus imágenes especulares. Tampoco es inusual que escriban espontáneamente de atrás adelante (figura 7.1) (Cornell, 1985; McMonnies, 1992; Wolff y Melngailis, 1996). La escritura en espejo ocurre en todas las culturas, incluso en China y en Japón. Aparece durante un breve período de tiempo a la edad en que los niños comienzan a escribir, y luego desaparece rápidamente. A menos que este fenómeno se extienda más allá de los ocho o diez años, no hay razones para alarmarse. A esta edad más tardía, este tipo de errores son, efectivamente, más frecuentes en los niños disléxicos,

•Lissie
 •Maggie

ei 2 8 i J •Maggie
 meggie •Lissie

gi 2 2 i J •
 meggie •

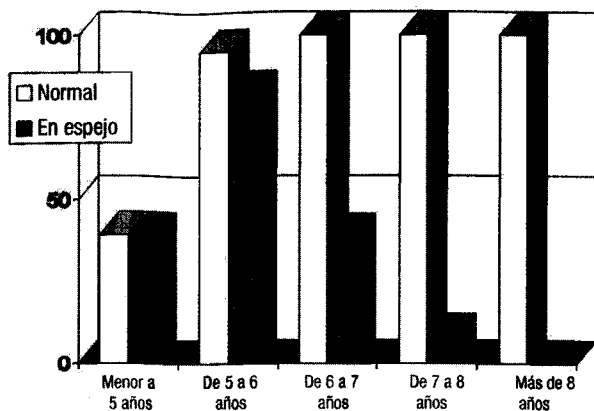


Figura 7.1. La mayoría de los niños pasa por una “etapa de espejo” durante la que tienden a confundirse la izquierda y la derecha cuando leen y escriben. Como demostración simple, James Cornell les pidió a dos hermanas que escribieran sus nombres al lado de un punto negro. Siempre que no había espacio suficiente para escribir de la forma normal, de izquierda a derecha, Lissie, que tenía cinco años, escribía su nombre espontáneamente en espejo, de derecha a izquierda. Maggie, que tenía seis, en cambio, siempre escribía su nombre en la dirección correcta (tomado de Walsh y Butler, 1996). Como muestra el gráfico de abajo, la mayoría de los niños, alrededor de los cinco años, pasa por una etapa en que parece ser igualmente capaz de escribir en las dos direcciones (datos de Cornell, 1985). Utilizado con permiso de Behavioral Brain Research.

aunque pueden desaparecer más adelante (Corballis, Macadie, Crotty y Beale, 1985; Wolff y Melngailis, 1996; Terepocki, Kruk y Willows, 2002; Lachmann y Geyer, 2003).

En mi hijo, la escritura en espejo sólo duró unos pocos meses. Aprendió a leer y a escribir a una velocidad normal, pero yo me quedé fascinado con la existencia de esta “etapa de espejo” en la adquisición de la lectura. ¿De dónde viene esta misteriosa capacidad? Cuando somos adultos, nos parece bastante difícil escribir nuestros nombres de derecha a izquierda. ¿Por qué es que los niños pequeños que apenas pueden sostener un lápiz tienen habilidades que exceden las de la mayoría de los adultos educados? A esta edad, además, los niños pueden localizar con facilidad anomalías en los dibujos o las letras faltantes en sus nombres. ¿Por qué no pueden darse cuenta de que están escribiendo sus nombres al revés?

Este extraño cóctel de talento y ceguera le da un sabor único al enigma que pienso abordar ahora. La escritura en espejo, sólo por ser tan única, supone otro argumento sólido a favor de la hipótesis del reciclaje neuronal. Como observaron Charles Darwin y Stephen Jay Gould, la mejor evidencia de la evolución está en las imperfecciones de la naturaleza. El diseño perfecto de un ojo o la perfección del ala tal vez puedan ser la obra de un genio divino, pero, ¿qué divinidad maligna habría elegido ubicar un ojo del lenguado de modo que mire hacia abajo, forzándolo a desplazarse al otro lado de la cabeza durante el desarrollo? ¿Qué arquitecto divino habría sido tan perverso como para permitir que el nervio auditivo de la jirafa vaya de su oído a la base de su cuello y luego otra vez al cerebro? Si los organismos fueran perfectos, tal vez sentiría cierta simpatía por el diseño inteligente. El estudio de los seres vivos, sin embargo, revela tantas metidas de pata que la teoría de Darwin resulta la clara ganadora: sólo la operación ciega de la evolución puede explicar esas tontas extravagancias.

Un argumento análogo puede utilizarse en psicología. Existen dos explicaciones en pugna para explicar la forma en que nuestro comportamiento encaja con nuestro ambiente. El ajuste entre ambos puede ser resultado de los efectos de la evolución en nuestra composición genética, o provenir del aprendizaje. Cuando el comportamiento parece estar perfectamente adaptado, como la lectura en los adultos lectores hábiles, es difícil separar lo natural de lo adquirido. Aquí también los desvíos respecto de la perfección resultan de especial interés. Cuando un niño comete un error sistemático o cuando, al contrario, posee una capacidad que va más allá de lo que podría haber aprendido, tenemos pruebas

claras de que está utilizando mecanismos mentales remendados, herencia del largo trayecto de la evolución.

Gracias al libro epónimo de Stephen Jay Gould, el pulgar del panda se ha vuelto el símbolo de los remiendos de la evolución (Gould, 1992). Este “pulgar” en realidad no es un dedo verdadero, sino la prolongación de un hueso de la muñeca que, sumado al tejido muscular apropiado, le permite al panda sostener el bambú cuando come. Cualquier ingeniero razonable habría duplicado uno de los dedos existentes, pero la Madre Naturaleza creyó más fácil cooptar otro hueso existente, el sesamoideo, para formar este artificio evolucionado. La existencia misma de esta extraña argucia es un testimonio de que la evolución, más que un diseñador inteligente, fue la encargada de dar forma a la mano del panda .

Mi hipótesis es que la lectura en espejo es una anomalía reveladora, tanto como esa otra: el pulgar del panda del cerebro. Si los niños se confunden de manera espontánea la izquierda con la derecha cuando leen y escriben, es porque su sistema visual, ya antes de la educación formal, se adecua a la fuerte restricción de la simetría. Nuestro cerebro visual da por supuesto que a la naturaleza no le importan la derecha y la izquierda, y por ende obliga a los niños a generalizar las orientaciones en espejo. Esta restricción de la simetría, que nos legó la evolución, sigue bien alojada en la estructura de nuestra corteza y ejerce una sólida influencia en la lectura normal y patológica.

Por lo general, la arquitectura de nuestro sistema visual es buena para la lectura. Nos permite reconocer de manera eficiente las formas de las letras y las palabras sin importar su tamaño ni si están en mayúscula o minúscula. La generalización de la simetría, sin embargo, es una propiedad visual que obstruye la lectura. Vuelve más lento el aprendizaje y lleva a confusiones sistemáticas entre letras como “p” y “q”. Como el pulgar del panda, esta anomalía deja en claro que no estaba previsto que nuestro cerebro leyera, pero se adapta para hacerlo, utilizando cualquiera de los medios que tiene a disposición.

Cuando los animales mezclan la derecha y la izquierda

El estudio sistemático de la confusión entre derecha e izquierda se remonta a Pavlov. En la década de 1920, su laboratorio investigó de forma prioritaria los límites del condicionamiento animal. ¿Podía un perro aprender a salivar por una cosa pero no por otra? En general, los animales se destacan en la diferenciación de estímulos visuales, pero Pavlov obtuvo

resultados curiosos cuando intentó enseñarles a los perros a diferenciar la izquierda y la derecha. Cuando se condicionaba a los perros para que salivaran cuando se les daba una palmadita en el lado derecho, respondían de forma idéntica si se los estimulaba del lado izquierdo. La diferenciación de la simetría parecía estar más allá de sus capacidades. Sólo un corte quirúrgico del cuerpo caloso, el tracto de fibras que conecta los dos hemisferios, les permitía finalmente diferenciar los estímulos simétricos. Pavlov llegó a la conclusión de que los errores especulares provenían de una activa generalización a partir de la cual el conocimiento que se adquiría en un hemisferio se transfería al otro a través del cuerpo caloso.

Desde el trabajo de Pavlov, numerosos estudios en animales han demostrado la ubicuidad de la confusión especular (Corballis y Beale, 1976). Supongamos que se entrena a una paloma para que picotee una tecla que tiene una línea diagonal, y luego se la evalúa en la generalización a nuevas líneas con orientación aleatoria. Pueden observarse dos tipos de respuesta: la paloma reacciona a la orientación aprendida, pero también a otra que es exactamente simétrica. Si bien el ave nunca antes ha visto la nueva línea, orientada de forma simétrica, se comporta como si esta nueva imagen fuera idéntica a la aprendida. Otra vez, esta habilidad espontánea desaparece cuando se lesionan las conexiones entre hemisferios (Beale, Williams, Webster y Corballis, 1972).

La psicología demuestra que nos comportamos como las palomas y los perros. Una vez que hemos aprendido una forma visual, extendemos inmediatamente el conocimiento a su imagen en espejo. Para probar esto, Michael Tarr y Steven Pinker les enseñaron a algunos estudiantes nombres arbitrarios para formas nuevas que se parecían a árboles con unas pocas ramas (Tarr y Pinker, 1989). Luego del entrenamiento, los estudiantes veían las nuevas formas, algunas de las cuales eran imágenes especulares de los estímulos originales. Aunque nunca los habían visto antes, los estudiantes nombraron estos estímulos nuevos a la misma velocidad a la que nombraban los originales. De este modo, la simetría de izquierda a derecha no desafía nuestro cerebro: cualquier forma que aprendemos se generaliza inmediatamente a su orientación en espejo.

Presento aquí una sencilla prueba de memoria. ¿Recuerda en qué dirección están los hombros de la Mona Lisa de Leonardo, o qué mano pone encima de la otra? Las monedas de veinticinco centavos de dólar, ¿muestran el perfil izquierdo o el derecho de George Washington? ¿La Estatua de la Libertad sostiene un libro en la mano derecha o en la izquierda? Trate de decidir antes de confirmar las respuestas en la figura 7.2: su confianza en sí mismo podría recibir un sacudón.

Los experimentos que realizaron Irving Biederman y sus colegas de la Universidad de Southern California confirman que las imágenes especulares confunden la memoria humana. Sus estudios trabajan sobre un efecto de *priming* perceptual: podemos nombrar una imagen más rápidamente si la hemos visto antes –incluso varias semanas antes– que si la vemos por primera vez. Este efecto de *priming* indica que el rastro de la memoria visual persiste a lo largo de días o semanas. Sin embargo, esta memoria, a diferencia de una fotografía, no retiene una imagen perfecta de lo que hemos visto. El *priming* visual ocurre incluso cuando la segunda imagen está desplazada en el espacio o cuando está en espejo (Biederman y Cooper, 1991; Fiser y Biederman, 2001). Así, nuestro recuerdo de una escena visual es abstracto y resiste el traslado de la imagen o la simetría.

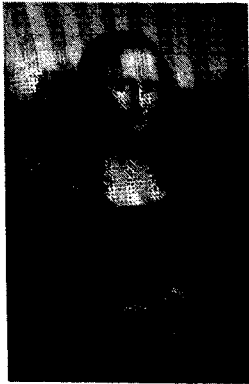


Figura 7.2. Nuestra memoria visual no es sensible a la orientación. ¿Estas imágenes le son familiares? Probablemente esta sea la primera vez que las ha visto de esta forma: todas están invertidas especularmente.

En resumen, siempre que una imagen se vuelve familiar, nuestra memoria no logra especificar su orientación espacial. Cuando volvemos a verla, somos incapaces de notar si es la misma o es una imagen invertida. Esta generalización en espejo nada tiene que ver con una limitación perceptual. En nuestra retina, dos imágenes en espejo como los perfiles derecho e izquierdo de la Mona Lisa son diferentes. Nuestro sistema visual es capaz de hacer distinciones mucho más finas, como la de la diferencia entre dos rostros que se ven desde un mismo ángulo. Si confundimos imágenes especulares, no es porque no las veamos. Más bien, los errores ocurren porque nuestro sistema visual reúne varios puntos de vista bajo la misma etiqueta. Los ángulos izquierdo y derecho de la misma imagen se tratan como el mismo objeto.

Evolución y simetría

¿Por qué nuestro sistema nervioso es tan insensible a la inversión de izquierda a derecha? Probablemente porque evolucionamos en un ambiente en que esta distinción por lo general es irrelevante (Corballis y Beale, 1976). Si bien el mundo es tridimensional, sólo dos de sus ejes tuvieron una influencia fuerte en nuestra evolución. El primero, que es vertical, está definido por la fuerza de gravedad. El segundo, que sólo se aplica a las especies móviles, va de adelante atrás. Define un lado privilegiado del cuerpo, el frente, donde nuestros órganos sensoriales y nuestro aparato digestivo están lógicamente ubicados. Juntos, estos dos ejes determinan el sistema de coordenadas del cuerpo. En última instancia, también tienen una influencia sobre nuestra percepción del espacio. Discriminar lo vertical de lo horizontal, lo que está lejos de lo que está cerca, o la parte delantera o trasera de un animal son operaciones esenciales para sobrevivir. A lo largo de millones de años, existieron presiones muy fuertes que llevaron a que el cerebro adoptara estas restricciones geométricas. Nuestro sistema visual, como el de todos los primates, incluye mecanismos complejos para calcular distancias, para distinguir el peligro inminente que viene de arriba o de abajo (un águila o una serpiente) y para diferenciar los rostros y sus expresiones de emoción: ¡nuestra sensibilidad para las partes traseras es menos aguda!

Significativamente, al tercer parámetro de espacio, el eje izquierda-derecha, la evolución le prestó menos atención. Los perfiles derecho e izquierdo de un tigre son amenazantes en igual medida, ¡pero la fiera parece una amenaza menor si está cabeza abajo que con el lado dere-

cho arriba! (Rollenhagen y Olson, 2000). La inversión por el eje izquierda-derecha tiene pocas consecuencias porque, en esencia, no produce cambios en el mundo. Cuando escrutamos una imagen de una escena natural, no podemos saber cuándo la izquierda y la derecha se han invertido, a menos que la fotografía incluya palabras, autos, señales viales u otros objetos construidos por el hombre.

No sólo no hubo presiones evolutivas fuertes para distinguir la izquierda de la derecha, sino que es muy posible que la presión haya favorecido la confusión. Puede ser útil confundir las imágenes en espejo si el objetivo es generalizar rápidamente a partir del conocimiento pasado. Imagínese, para poder ejemplificar este argumento, que uno de nuestros ancestros sobrevivió a un encuentro cercano con un tigre que lo había atacado por la derecha, y luego se le acercó el mismo tigre desde la izquierda... Con seguridad habría sido muy útil para él reconocer al animal de forma inmediata.

A lo largo de las generaciones, la evolución nos garantizó un sistema visual que podía generalizar las imágenes vistas desde la izquierda y desde la derecha. El resultado desafortunado es que nuestro sistema nervioso corre el riesgo de confundir objetos que no son idénticos cuando los vemos en un espejo; por ejemplo, los zapatos o los guantes. El riesgo, sin embargo, no es enorme. En un ambiente natural, la mayoría de los animales y de las plantas posee un eje de simetría o de cuasi-simetría, al menos superficial; los órganos internos no necesitan ser simétricos, pero la forma externa de los cuerpos en general lo es. La evolución parece haber calculado que había más para ganar si no se le daba importancia a la izquierda o a la derecha, siempre que esto nos permitiese reaccionar con mayor velocidad en situaciones críticas.

La percepción de la simetría y la simetría del cerebro

¿Qué mecanismo biológico causa la percepción en espejo? Durante los últimos ochenta años, una hipótesis especulativa, la teoría de Orton, ha generado mucho interés y controversia en la comunidad psicológica (Orton, 1925, 1937). En la década de 1920, el doctor Samuel Orton, un médico estadounidense pionero en el estudio de los déficits de lectura, intentó vincularlos con la anatomía del cerebro. Su teoría fue el primer intento sistemático de explicar los errores **disléxicos**. Por este motivo es de especial interés histórico, incluso si nuestro conocimiento actual de la anatomía cerebral la vuelve poco convincente.

¿Qué propuso Orton? Observó que el hemisferio izquierdo es casi una imagen especular del derecho. Sobre esta base, hizo la osada especulación de que los dos hemisferios codificaban información visual de manera simétrica, en espejo. Siempre que el hemisferio izquierdo veía “b”, el hemisferio derecho veía la imagen simétrica, “d” (figura 7.3). Orton no logró explicar cómo esta reversión hipotética funcionaba en términos neurales; simplemente afirmó que “los grupos de células irradiadas por cualquier estímulo visual en el hemisferio derecho eran la contraparte especular exacta de aquellos de la izquierda” (Orton, 1925: 607).

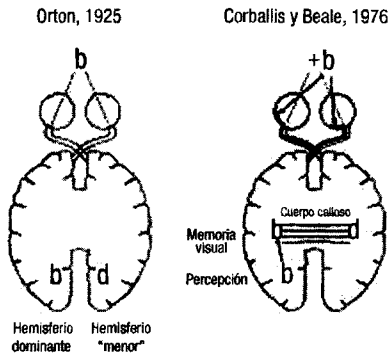


Figura 7.3. Dos teorías neurológicas intentaron explicar las confusiones de imágenes simétricas. Para Orton (1925), la simetría del cerebro implicaba que cada imagen visual se codificaba dos veces: una con la orientación apropiada en el hemisferio dominante, y una con la orientación inversa en el otro hemisferio. Las confusiones en espejo ocurrían cuando una persona no lograba inhibir el código visual del hemisferio menor. La teoría alternativa de Corballis y Beale (1976) propone que la presentación de una letra activa inicialmente las áreas visuales del hemisferio opuesto (lo que está en concordancia con nuestro conocimiento moderno del sistema visual). Sin embargo, un mecanismo activo de aprendizaje transfiere la forma memorizada al otro hemisferio a través del cuerpo caloso. Durante esta transferencia, la geometría de estas conexiones, que conectan puntos simétricos en los dos hemisferios, impone una inversión de izquierda a derecha. Para Corballis y Beale, las confusiones en espejo, entonces, son resultado de un exceso de generalización más que de un error genuino. Nuestro sistema visual, durante el transcurso de su evolución, incorporó el hecho de que las imágenes simétricas suelen ser dos perspectivas del mismo objeto.

Si en nuestros cerebros coexisten dos imágenes mentales, una que representa un objeto y otra que representa su imagen en espejo, decía Orton, está claro por qué con tanta frecuencia confundimos la izquierda y la derecha. Su teoría postulaba que percibimos la orientación de nuestro entorno prestándole atención a un hemisferio y silenciando el otro. Cuando tienen que nombrar letras o palabras, los sujetos normales a menudo confían en las imágenes del hemisferio izquierdo, donde está localizado el lenguaje. Para Orton, cuando leemos palabras, dejamos que el hemisferio izquierdo domine y aprenda a dejar pasar la información visual proveniente del hemisferio derecho. Como sólo confiamos en la información del hemisferio izquierdo, logramos diferenciar la “b” de la “d”. De otro modo, serían simplemente indiscernibles.

Había un último elemento en la teoría de Orton. Esta suponía que los errores de izquierda-derecha ocurren en algunas personas a causa de una diferenciación hemisférica pobre. Dicho déficit les impide prestar atención selectivamente a un hemisferio por vez. Como confían en un hemisferio o en otro aleatoriamente, mezclan de manera inevitable la izquierda y la derecha y no logran distinguir las imágenes simétricas. Orton llamó a esta patología hipotética *strephosymbolia*; este término griego significa “reversión de símbolos”.

Ochenta años después y con el conocimiento aportado por las investigaciones que se realizaron desde entonces, las teorías de Orton acerca de la visión parecen simplistas. Sin embargo, tenía razón acerca de un punto importante: los mapas visuales que ocupan la región occipital de los hemisferios izquierdo y derecho están, en efecto, organizados uno como imagen especular del correspondiente al del otro hemisferio. Sin embargo, al contrario de lo que Orton creía, en el área visual primaria las imágenes entrantes *no* están duplicadas en los dos hemisferios. Las proyecciones visuales son tanto más sencillas: la mitad izquierda del campo visual se proyecta en el hemisferio derecho, y la mitad derecha en el hemisferio izquierdo. Por ende, cuando vemos una “p” en el lado derecho del campo visual, la codifica el área visual primaria del hemisferio izquierdo, pero el área correspondiente del hemisferio izquierdo, u homóloga... no codifica nada, ya que no recibe información visual de esa parte del espacio.

A medida que la información que ingresa avanza en la jerarquía de áreas visuales, el problema de la duplicación de Orton se vuelve más real. Las áreas visuales secundaria y terciaria, que funcionalmente están más lejos de la retina, responden a sectores cada vez mayores del campo visual. Como resultado, un único objeto visual comienza a activar gru-

pos de neuronas de ambos hemisferios. Sin embargo, el código neural también se vuelve cada vez más abstracto. La distribución espacial de las neuronas ya no refleja de modo fidedigno la forma del objeto en la retina. Más bien, como vimos en el capítulo 3, comienza a emerger un código combinatorio para la orientación de las líneas, la curvatura, el color, y otros identificadores de forma. Entonces, más arriba en la jerarquía visual, los dos conjuntos de neuronas que codifican la letra “p” en los hemisferios izquierdo y derecho *no* tienen la forma del estímulo visual. A diferencia de lo que Orton creía, no hay una forma en que puedan ser “exactamente simétricas”.

Otro problema con la teoría de Orton es que, incluso si aceptamos que los circuitos neuronales que codifican la letra “p” en los dos hemisferios son imágenes especulares, no queda claro por qué esta simetría neuronal necesariamente supone errores de percepción en espejo. Al respecto, la hipótesis de Orton parece estar errada. Nos trae a la memoria la idea ingenua de que el procesamiento visual en primer lugar pone la imagen del mundo visual cabeza abajo porque los lentes de nuestros ojos comienzan por invertirla. Nos recuerda a la idea del homúnculo, el hombrecito imaginario que supuestamente controla nuestros cerebros, escruta las áreas visuales como si fueran pantallas de computadora y se confunde si una de estas invierte la derecha y la izquierda. Esta visión simplista del cerebro es insostenible. No hay un observador escondido en él. Nuestro sistema visual no necesita exponer sus resultados para que alguien más los lea. Meramente extrae información y la codifica en varios formatos de modo que guiará nuestro comportamiento.

Al contrario de lo que Orton creía, no importa que la letra “p” esté representada por un grupo de neuronas del hemisferio izquierdo y por otro exactamente simétrico a él en el hemisferio derecho. Cualquiera de estos grupos podría ser un código abstracto perfectamente apropiado para la letra “p”. Afirmar que uno de estos grupos está orientado de forma correcta y representa la imagen verdadera, mientras que el otro está invertido, es un error basilar: ¡es como si la palabra “rojo” tuviera que estar codificada por neuronas rojas, o el movimiento visual se codificara moviendo neuronas!

La forma en que Orton concebía la lateralización visual parece igualmente simplista: si nuestro hemisferio izquierdo siempre codifica la orientación de los objetos de forma correcta, y el hemisferio derecho de forma errónea, en todo momento deberíamos tener errores en espejo, y en todo tipo de tareas que dependan fundamentalmente del hemisferio derecho, como la memoria espacial o la atención visual.

En resumen, la hipótesis de Orton mezcla el código y aquello que dicho código representa. En la década de 1920, era difícil pensar en el código neural para las palabras escritas como algo diferente de la "imagen" en la superficie cortical. Durante la década de 1950, el surgimiento de la teoría de la información y las ciencias de la computación nos permitieron comprender mejor la naturaleza de los códigos. Ahora sabemos que cualquier sistema de marcas puede funcionar como vehículo para la información, siempre que no sea ambiguo y que cuente con las rutinas de codificación y decodificación adecuadas. No hay necesidad de que el código neural tenga la forma del objeto que se supone que representa.

A pesar de esta avalancha de críticas, extrañamente la hipótesis de Orton todavía resulta muy seductora. Sobre todo, refutar esta teoría no nos libra de los hechos que estaban detrás de ella. Muchos niños sí confunden la izquierda y la derecha y tienen errores en espejo en la lectura y la escritura. Además, no es infrecuente que sean zurdos o que tengan trastornos del habla que sugieran una lateralización hemisférica anormal. ¿Es posible rescatar los ingredientes clave de la teoría de Orton y desechar sus fisuras?

Los seguidores modernos del doctor Orton

En la década de 1970, Michael Corballis e Ivan Beale, de la Universidad de Auckland, propusieron una relectura moderna de las hipótesis de Orton (Corballis y Beale, 1976, 1993). Sostenían, de acuerdo con datos neurocientíficos modernos, que las áreas visuales de ambos hemisferios comienzan procesando partes independientes de las imágenes que reciben (ver figura 7.3). La simetría anatómica de las áreas visuales sólo entra en juego cuando los datos se transfieren de un hemisferio al otro. Corballis y Beale postularon que cada vez que un hemisferio adquiere información visual nueva, la huella en la memoria de inmediato se transfiere al otro, de modo que se preserve la coherencia entre ellos. Desde luego, esta transmisión depende en primer lugar del cuerpo caloso, el gran conjunto de fibras que conecta áreas simétricas de los dos hemisferios. Dado que estas fibras establecen una proyección de uno a uno entre las áreas visuales simétricas, Corballis y Beale notaron que la transferencia debería invertir la izquierda y la derecha. De este modo, nuestros recuerdos visuales se espejan inmediatamente: sólo una consecuencia trivial de la geometría de nuestras conexiones interhemisféricas.

Un aspecto interesante del modelo de Corballis y Beale es que no implica que la percepción en sí misma esté errada. En las primeras etapas del procesamiento visual, percibimos correctamente un mundo visual bien orientado. Esta información puede utilizarse para guiar de forma eficiente nuestras acciones: por ejemplo, podemos trazar el contorno de la letra “b” sin invertir sus dos lados. El conocimiento visual adquirido sólo se generaliza en una segunda etapa, cuando memorizamos la letra. Esta es la razón por la que no podemos recordar hacia dónde mira la Gioconda.

El siguiente podría ser un ejemplo concreto de cómo la teoría de Corballis y Beale explica las inversiones en espejo. Durante su primera clase de lectura, un niño ve la letra “b” y aprende que suena como *be*. Si esta imagen aparece por primera vez a la izquierda del niño, la codifica por primera vez el hemisferio derecho, donde las poblaciones neuronales aprenden a conectar esta forma con su nombre. Una vez que se la memoriza, la información se transfiere al otro hemisferio, donde la forma “b” se convierte en una forma “d”. Esta forma, entonces, también se asocia al sonido *be*. A la mañana siguiente el niño ve la forma “d” en su campo visual derecho y con seguridad afirma que es una *be*. Para su gran sorpresa, la maestra le dice que la letra es una *de*. Esta nueva información se almacena... pero desestabiliza inmediatamente el conocimiento previo de la letra “b”.

Si Corballis y Beale tienen razón, para aprender a leer, el niño debe desconectar la reversión automática. Debe dejar de percibir las letras “b” y “d” como el mismo objeto visto desde diferentes ángulos. Este proceso de desaprendizaje es difícil para todos los niños, y plantea problemas que algunos niños disléxicos no pueden superar.

Las objeciones planteadas a la anterior propuesta de Orton no se aplican al modelo de Corballis y Beale, ya que este no sostiene que el código neuronal tenga la orientación correcta en un hemisferio y la orientación incorrecta en el otro. Simplemente afirma que la transferencia interhemisférica extiende nuestra memoria visual a las imágenes especulares de los objetos que hemos percibido antes. Esta transferencia de información entre hemisferios implica que una letra “b” en el campo visual izquierdo activa las mismas neuronas visuales que una letra “d” en el campo visual derecho. Como resultado, las áreas cerebrales que procesan esta información con posterioridad no tienen forma de distinguir entre estas dos imágenes. La información acerca de la orientación de las letras es descartada sin siquiera haberse recordado.

¿Por qué la evolución seleccionó un mecanismo de aprendizaje simétrico que en la práctica desecha la información en lugar de almacenarla?

Sin duda, porque ofrece una manera simple de aprovechar la simetría a menudo presente en el mundo natural. Un organismo equipado con este mecanismo puede reconocer con la misma facilidad el perfil derecho y el izquierdo de un tigre.

En el modelo de Corballis y Beale, lo que subyace a nuestras habilidades de inversión es la conservación activa de una distribución simétrica del cerebro visual. Su modelo da por sentado que nacemos con una distribución uno a uno de conexiones visuales que vinculan los dos hemisferios, y que hay mecanismos que trabajan constantemente para preservar esta simetría inicial. Con la ayuda de unos pocos genes y gradientes espaciales, es relativamente fácil imaginar cómo las conexiones del cuerpo calloso establecen de forma innata la proyección punto a punto entre las áreas simétricas del cerebro, de un modo muy similar a como las alas de una mariposa tienen simetría perfecta.⁵⁸ Antes del nacimiento, y antes de cualquier interacción con el mundo visual, el cerebro integra la simetría de izquierda y derecha como una propiedad esencial que resulta esperable encontrar en los alrededores. Probablemente, todos estemos preparados para la generalización de la simetría, un mecanismo innato que nos da ventaja en nuestras interacciones con el entorno. A fin de sostener esta ventaja, sin embargo, nuestro cerebro tiene que luchar para preservar su simetría inicial. Aquí está la clave del mecanismo de Corballis y Beale: cada vez que el aprendizaje modifica los mecanismos neurales de un hemisferio, la transferencia a través del cuerpo calloso se asegura de que también ocurra un aprendizaje similar en el otro hemisferio, lo que restaura la simetría.

Ventajas y desventajas de un cerebro simétrico

Imaginemos, sólo a modo de hipótesis, que somos “máquinas de Corballis” perfectas: mecanismos idealmente simétricos cuyas neuronas y conexiones se espejan, hasta el detalle más pequeño, en ambos hemisferios. ¿Cómo nos comportaríamos? ¿Todavía podríamos desplazarnos en el espacio, distinguir la derecha de la izquierda, o nombrar los objetos vi-

⁵⁸ Es tentador especular que este puede ser el rol del gen *ROBO1*, cuya mutación se ha asociado con la dislexia (Hannula-Jouppi y otros, 2005) y del cual se sabe, a partir de investigaciones realizadas en animales, que regula el viaje de los axones a través de la línea media del cerebro.

suales? ¿Qué tipos de errores cometeríamos? ¿Podrían relacionarse con los errores en espejo de los niños?

Aquí debemos corregir una idea equivocada. Incluso si un organismo estuviese en perfecta simetría, hasta los recovecos más profundos de su sistema nervioso, no necesariamente confundiría en todas las situaciones la izquierda y la derecha. De hecho, un organismo como este podría realizar acciones orientadas espacialmente como respuesta a la estimulación asimétrica. Imaginemos, por ejemplo, que ve un tigre que llega por la derecha, y que está predispuesto para responder corriendo hacia la izquierda. La simetría de su plan corporal implica que debería realizar una acción simétrica (correr hacia la derecha) como respuesta a la escena simétrica (un tigre que viene de la izquierda). Cualquiera que observara esta escena llegaría a la conclusión de que este organismo, aunque es perfectamente simétrico, distingue con precisión la izquierda de la derecha.

Nuestro hipotético organismo simétrico sólo responde de forma idéntica a dos imágenes inversas cuando la respuesta es convencional y no espacial. Si un organismo simétrico, por ejemplo, aprende a decir la palabra “tigre” cuando ve el perfil derecho de un tigre, la simetría de su plan corporal lo obligará a dar la misma respuesta al perfil izquierdo del tigre. En otras palabras, puede reconocer e incluso nombrar un tigre sin importar su orientación en el espacio. Esta útil característica se da incluso la primera vez en que un organismo ve al tigre desde un nuevo ángulo.

En resumen, poseer un cerebro simétrico y preservarlo durante el transcurso del aprendizaje tiene dos ventajas:

- La simetría del plan corporal le permite al organismo almacenar los objetos visuales de forma invariante, sin importar la orientación de izquierda-derecha.
- Por otro lado, no impide su facultad de producir gestos apropiados y orientados espacialmente.

Sin embargo, hay dos tipos de operaciones que un organismo simétrico no puede realizar. La primera consiste en emitir una respuesta arbitraria frente a un objeto asimétrico, pero no frente a su imagen especular. Este tipo de operaciones es útil en la vida real. Por ejemplo, nombramos la forma “b” como *be*, pero no la forma “d”. También decimos “izquierda” cuando vemos una mano izquierda, pero no cuando vemos una mano derecha. Un organismo perfectamente simétrico no podría realizar estas tareas, por sencillas que puedan parecer.

La segunda operación que un cerebro en espejo no puede realizar es hacer gestos asimétricos como respuesta a una orden que no incluye información espacial. Un ejemplo de la vida real podría ser levantar sólo la mano derecha en respuesta a la orden verbal "derecha". Un organismo perfectamente simétrico no podría hacerlo: las conexiones que vinculan las áreas auditivas con las órdenes motoras también deberían producir el movimiento del brazo derecho. Uno, entonces, esperaría que un organismo de este tipo realizara gestos simétricos con sus dos miembros o, si se inmiscuye algo de ruido, que en respuesta a una orden verbal de ese tipo levantara la mano izquierda o la derecha aleatoriamente.

Es sorprendente que los límites teóricos de los organismos simétricos coincidan con lo que observamos en los animales y los niños pequeños. Ningún niño tiene problemas para nombrar un objeto familiar, incluso si lo ve desde un nuevo ángulo. Cuando sostiene una pelota en la mano derecha, ¡ningún niño mueve su mano izquierda para tirarla! Sin embargo, todos los niños al principio tienen dificultades para distinguir las letras "b" y "d" y para definir cuál es su mano derecha y cuál es la izquierda.

En resumen, aunque parece algo artificial, el concepto de un cerebro simétrico que sostiene su simetría activamente a lo largo del aprendizaje merece nuestra atención. En efecto, parece capturar algunos de nuestros límites cognitivos para lidiar con la izquierda y la derecha. Sin embargo, ¿hay alguna prueba de que la transferencia interhemisférica imponga la inversión de derecha e izquierda que postularon Corballis y Beale? La discusión precedente no es tan inocentemente geométrica ni está tan lejos de la biología como parece. Los resultados de varios experimentos vinculan la percepción de la simetría con la simetría del cerebro.

Neuronas y simetría

La neuropsicología apenas está comenzando a estudiar las bases neurales de la percepción de la simetría, pero los datos disponibles ya sugieren que la simetría es una de las invariantes principales que extraen las neuronas de la corteza temporal inferior, que en los humanos es, por supuesto, la ubicación de la "caja de letras del cerebro". Como señalé antes, las neuronas de la corteza temporal inferior tienden a preferir algunos objetos visuales, sin importar los cambios en el punto de vista. Una neurona que prefiere, digamos, el rostro de Jennifer Aniston, sostiene

ne su preferencia sin importar su tamaño ni su posición en la retina. De un tiempo a esta parte, los neuropsicólogos reportaron que algunas de estas neuronas también son invariantes para la simetría (Rollenhagen y Olson, 2000; Baylis y Driver, 2001): su perfil de respuesta, para un rango de imágenes, continúa siendo idéntico incluso cuando se las invierte.

A menudo estas neuronas también demuestran una invariabilidad mayor a las inversiones horizontales que a las verticales. Por ejemplo, si una neurona se dispara para la forma “p”, también se descarga con fuerza para su forma en espejo en el eje izquierda-derecha, o la forma “q”, pero la misma neurona no responde necesariamente de manera idéntica a formas que son simétricas en el eje vertical. En otras palabras, esta neurona distingue “p” de “b”, pero no “p” de “q”.

En conjunto, las neuronas temporales inferiores implementan la invariabilidad perceptual: nos permiten reconocer un objeto sin importar su tamaño ni su localización. Los nuevos datos electrofisiológicos indican que la distinción entre la izquierda y la derecha también está entre las diferencias irrelevantes que nuestro sistema visual ventral ignora sistemáticamente.

Si la teoría de Corballis y Beale es correcta, la invariabilidad en espejo no necesita aprenderse. Pertenece a las constantes estructurales inherentes a la geometría de nuestras conexiones interhemisféricas. El trabajo del neuropsicólogo Nikos Logothetis (Logothetis, Pauls y Poggio, 1995) avala fuertemente esta hipótesis. Logothetis entrenó a monos macacos para que reconocieran formas tridimensionales poco frecuentes, similares a clips retorcidos: un enredo de segmentos de líneas doblados en algún ángulo (figura 7.4). Lo que quería dilucidar era si los monos los seguirían reconociendo cuando los vieran desde otros ángulos. Durante el entrenamiento, Logothetis se aseguró de que los monos sólo vieran cada objeto desde un ángulo fijo: sólo una rotación mínima por el eje vertical creaba una sensación de profundidad. ¿Pero esta exposición mínima era suficiente para el reconocimiento invariante? Para responder a esta pregunta, Logothetis le mostró al animal todas las perspectivas posibles del objeto, mezcladas con otras imágenes distractoras, de formas no relacionadas.

El resultado fue que, cuando la nueva orientación se alejaba (unos 40° o más) de la previamente aprendida, el mono no lograba reconocer el objeto con que se lo había entrenado. Sin embargo, cuando la rotación alcanzaba los 180°, el reconocimiento aparecía de modo repentino. Se observó un comportamiento similar para la descarga de las neuronas temporales inferiores: la mayoría de las neuronas se descar-

gaba al máximo cuando un objeto se presentaba en la orientación que había aprendido, dejaba de descargarse cuando el objeto se movía unos 40 o 50 °, pero volvía a descargarse con fuerza cuando el ángulo alcanzaba los 180 °. ¿Por qué 180 °? Este ángulo corresponde a un medio giro, y para los objetos de alambre como los clips la imagen siguiente se ve casi exactamente como la imagen en espejo del objeto inicial (si formamos la letra “b” con un clip, lo podemos convertir en una “d” si lo giramos 180 °).

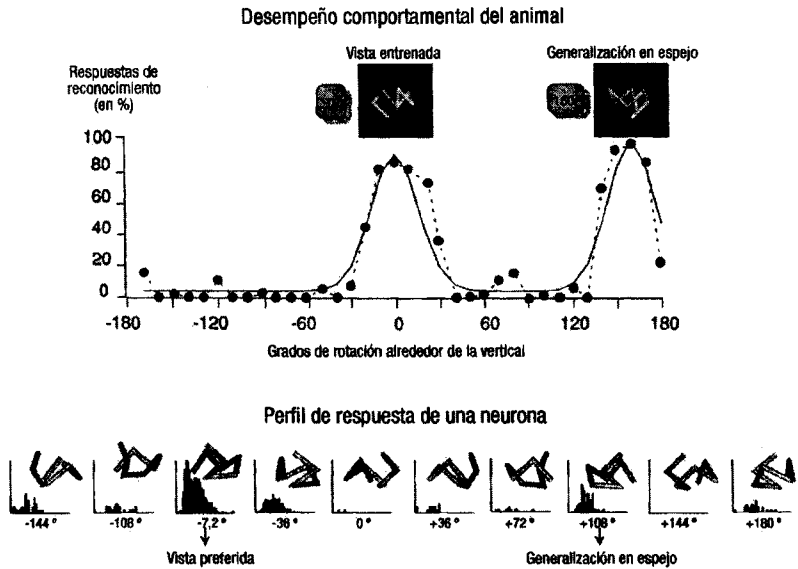


Figura 7.4. Luego del entrenamiento con una forma específica, el sistema visual de los primates la generaliza a su imagen invertida. En este experimento, se le enseñó a un mono a reconocer un objeto de alambre desde un punto de vista específico. Luego se lo evaluó con el mismo objeto visto desde varios ángulos (gráfico de arriba). El animal reconocía el objeto cuando se lo presentaba desde el ángulo entrenado, pero también luego de una rotación de 180 °, que correspondía a la imagen en espejo de lo que habían visto en primer lugar. Luego del aprendizaje, las neuronas respondían tanto a la imagen original como a su imagen en espejo (gráfico de abajo) (según Logothetis, Pauls y Poggio, 1995). Utilizado con autorización de Oxford University Press.

En resumen: sin aprendizaje adicional, las neuronas de la corteza temporal inferior pueden reconocer la imagen invertida de una forma conocida, aunque la vean por primera vez. El estudio de las neuronas específicas para rostros, que también son numerosas en esta área, confirma esta conclusión. Muchas neuronas se descargan de forma idéntica para dos perspectivas simétricas de la misma cara, por ejemplo, sus perfiles derecho e izquierdo (Perrett, Mistlin y Chitty, 1989). Es sorprendente que esta invariabilidad en espejo esté presente ya en los monos recién nacidos (Rodman, Scalaidhe y Gross, 1993). En nuestra especie, también los bebés de cuatro meses de edad reconocen la imagen invertida de un objeto familiar (Bornstein, Gross y Wolf, 1978). Desde el nacimiento, todos parecemos poseer un asombroso sentido de simetría.

La investigación de Logothetis señala un contraste interesante entre la rotación y la simetría. La invariabilidad por rotación no parece pertenecer a las habilidades iniciales de nuestro sistema visual. Tenemos que aprender cómo se ve un objeto cuando se lo gira. A nuestro sistema visual, en esta etapa, parece faltarle cualquier conocimiento profundo de las formas en tres dimensiones: simplemente utiliza las imágenes en dos dimensiones que ha visto. Es todavía más intrigante que la simetría escape a esta regla.

Los experimentos con imágenes cerebrales tanto con macacos como con humanos han revelado hace poco una sensibilidad sorprendente en la corteza visual a una edad temprana. Si se agregan unos pocos puntos distribuidos simétricamente en medio de una nube de puntos aleatorios, aumenta muchísimo la activación de las regiones laterales de la corteza tampo-occipital. La habilidad para detectar la simetría está directamente relacionada con este aumento en la descarga (Sasaki y otros, 2005). Aunque la evolución nunca nos preparó para ver patrones de puntos simétricos, estos resuenan en nuestros circuitos visuales, que se disparan de inmediato ante cualquier indicio de simetría.

Conexiones simétricas

La geometría de las conexiones neurales que subyace a la percepción de la simetría aún no ha sido objeto de muchas investigaciones. Tal vez Beale y Corballis tengan razón y en el cuerpo calloso, con su conjunto de conexiones simétricas que enlazan los dos hemisferios, resida la clave de la percepción de la simetría. En ausencia de datos fuertes, sin embargo, de momento nos vemos obligados a especular sobre la base de eviden-

cia fragmentada pero sugerente. Ya he citado los experimentos pioneros de Pavlov y Beale con perros y palomas. Ambos animales tienen gran dificultad para aprender a diferenciar pares de imágenes especulares. Una paloma, por ejemplo, aprende con facilidad la diferencia entre las barras verticales y horizontales (– frente a |), pero tiene un desempeño lamentable cuando las mismas barras se rotan 45° para formar un par de imágenes simétricas en espejo (/ frente a \). Sin embargo, cuando se lesiona el cuerpo caloso, como notaron tanto Pavlov como Beale, la lesión vuelve *más fácil* la tarea, lo que sugiere que en verdad las conexiones interhemisféricas contribuyen a la percepción de la simetría.

¿Pero exactamente qué papel desempeñan? Otros experimentos confirman que la transferencia de información entre los hemisferios, a través del cuerpo caloso, da vuelta el espacio visual como un guante, y de este modo invierte la izquierda y la derecha. En la década de 1960, Nancy Mello, en Harvard, publicó una serie de artículos, hoy ya olvidados, sobre el sentido de simetría de las palomas (Mello, 1965, 1966, 1967). Esta especie presenta una peculiaridad anatómica útil: a diferencia de lo que ocurre con los mamíferos, el ojo derecho de la paloma se proyecta sólo a las áreas visuales del hemisferio izquierdo. Esto significa que, si se le tapa un ojo, uno puede asegurarse de que la información visual sólo llegue a un hemisferio.

Mello entrenó a varias palomas para que diferenciaban, utilizando sólo un ojo, dos imágenes visuales como \wedge frente a \vee , o \triangleleft frente a \triangleright . Para esto, se las premiaba cuando picaban una de las formas pero no cuando picaban la otra. Una vez que se había establecido la diferenciación, Nancy Mello estudió cómo se generalizaba al otro ojo. ¡Sorpresa! Las palomas todavía tenían un buen desempeño cuando el par de imágenes tenía simetría vertical (\wedge frente a \vee), pero fallaban sistemáticamente con la simetría entre la derecha y la izquierda (\triangleleft frente a \triangleright). ¡Incluso tenían resultados por debajo del nivel de azar! Una paloma entrenada para picar la forma \triangleleft vista con el ojo derecho picaba sistemáticamente la forma simétrica \triangleright cuando se le presentaba en el ojo izquierdo. Por ende, la información visual aprendida sí viajaba a través de ambos hemisferios, pero la transferencia invertía sistemáticamente la izquierda y la derecha, tal como predice el modelo de Corballis y Beale.

Un año más tarde, se realizaron investigaciones similares con una especie más cercana a la nuestra, el mono macaco. John Noble, del University College de Londres, primero lesionó el quiasma óptico, lo que forzó a cada ojo a proyectarse sólo al hemisferio opuesto, como en las palomas. Luego entrenó a los animales para que diferenciaban dos

objetos simétricos con un ojo. Por último, evaluó la generalización al otro ojo. Noble también observó una desconcertante generalización de las imágenes en espejo. Luego de un breve período de respuestas al azar, los animales comenzaron a desempeñarse *peor* que al azar. Tal como las palomas, eligieron sistemáticamente la forma equivocada, esto es, la imagen especular de aquella con que se los había entrenado.

En experimentos posteriores, Noble demostró que la transferencia del conocimiento visual pasaba o bien a través del cuerpo calloso o bien a través de otro haz de fibras llamado “comisura anterior”. La transferencia en espejo desaparecía cuando se cortaban ambos haces de fibras, pero persistía cuando uno de ellos permanecía intacto. En un último experimento, Noble eliminó las conexiones interhemisféricas luego del período de aprendizaje, pero antes de evaluar el otro ojo. La inversión en espejo todavía podía observarse, lo que sugería que dependía del cuerpo calloso a la hora del aprendizaje, pero no durante el período de evaluación.

Noble llegó a la conclusión de que, en el mono, a cada episodio de aprendizaje lo acompaña el aprendizaje en espejo en el otro hemisferio. Notó que este mecanismo puede dar cuenta de las peculiares dificultades que los animales y los humanos experimentan para la distinción de la izquierda y la derecha. En la visión binocular, el aprendizaje en espejo asegura que cada hemisferio reciba tanto una entrada visual primaria cuanto una imagen secundaria en espejo del mundo exterior. Cuando la escena que se observa es simétrica, ambas representaciones son idénticas y una mejora a la otra. Sin embargo, cuando tenemos que diferenciar estímulos asimétricos como “b” frente a “d”, las dos representaciones internas compiten entre sí. Este conflicto cerebral vuelve más lento el aprendizaje, aunque la representación primaria finalmente gane.

Si este razonamiento es correcto, debería existir un principio de simetría que rigiese la puntillosa distribución anatómica de las conexiones interhemisféricas. Las proyecciones uno a uno deberían conectar sectores simétricos de las áreas visuales de forma directa. Este es el caso (Abel, O’Brien y Olavarría, 2000; Houzel, Carvalho y Lent, 2002; Olavarría y Hiroi, 2003), y supone más evidencia a favor del modelo de Corballis y Beale. La geometría de las conexiones interhemisféricas es, en efecto, tan bella como las alas de una mariposa. Una neurona situada en la corteza visual izquierda envía un axón que va primero en dirección perpendicular a la superficie cortical, luego se une al conjunto de fibras callosas y más tarde alcanza el hemisferio opuesto. Luego, de pronto, se

dirige hacia una localización en la corteza que es exactamente simétrica a su punto de partida (figura 7.5). Este tipo de neuronas ha sido observado en la corteza visual primaria de las ratas y los ratones, y en el área visual secundaria de los monos macacos. Su función es desconocida, pero su geometría parece idealmente preparada para crear imágenes especulares de los estímulos visuales, de modo que facilite la detección de los objetos simétricos.

Si no se les ha prestado suficiente atención a estas conexiones simétricas, es porque sólo constituyen una fracción de las conexiones que conectan los dos hemisferios. El haz más grande de fibras interhemisféricas no es simétrico, sino que sirve para dar una puntada entre las dos representaciones corticales del mundo visual. Responde a un enigma bien conocido: ¿por qué percibimos un mundo visual integrado cuando, hablando objetivamente, nuestro mundo visual está separado en dos mitades, cada una codificada por un hemisferio diferente (véase figura 7.5)? Las conexiones interhemisféricas tienen un papel esencial a la hora de restablecer la continuidad funcional del mundo a pesar de esta segregación anatómica. Las conexiones como puntadas que unen los hemisferios se concentran en el área de la discontinuidad (la línea media vertical) y conectan los sectores de los hemisferios izquierdo y derecho que codifican localizaciones visuales similares, punto a punto.

Las investigaciones de Jaime Olavarría y sus colegas en Seattle revelaron que durante el desarrollo existe una competencia entre el principio de continuidad visual, que depende de las puntadas que unen los dos hemisferios, y el principio de simetría, que requiere proyecciones simétricas de escala mayor (véase Olavarría y Hiroi, 2003, y las referencias que allí se encuentran). Las conexiones simétricas son abundantes en el nacimiento, probablemente las fijan los gradientes de la atracción química. Sin embargo, son podadas considerablemente durante los primeros días de vida. Gracias a este proceso de poda, las conexiones-puntadas que aseguran la continuidad del campo visual tienden a terminar dominando la situación.

Es interesante que para que ocurra este proceso de poda tal vez no sea necesaria la exposición al ambiente. Incluso en el útero, las ondas espontáneas de actividad neuronal que viajan a través de la retina les dicen a las neuronas de los hemisferios izquierdo y derecho que codifican la misma localización en la retina. En las ratas, las conexiones-puntadas se establecen varios días antes de que los animales abran los ojos. Es más, se desorganizan cuando la actividad retiniana espontánea se ve perturbada. En este caso, pierden la carrera los axones que unen

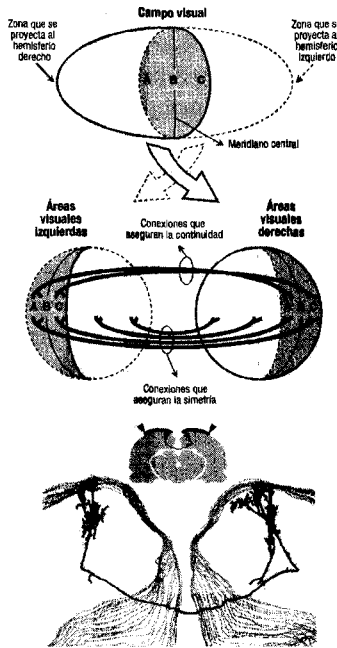


Figura 7.5. La continuidad y la simetría son los principios rectores más importantes en la arquitectura de las conexiones visuales entre los dos hemisferios. El diagrama de arriba recuerda el hecho conocido de que la mitad izquierda del mundo visual se proyecta al hemisferio derecho, y la mitad derecha, al hemisferio izquierdo, sólo con un poco de superposición en el centro (tomado de Olavarría y Hiroi, 2003). Si no percibimos discontinuidades en la escena visual, es gracias a las conexiones interhemisféricas que aseguran la continuidad funcional del campo visual conectando regiones corticales que codifican el mismo punto. Estas conexiones que son como puntadas sólo afectan la región central de la retina, y no son simétricas, sino que se desplazan por traslación. Existen otras conexiones interhemisféricas que conectan puntos simétricos del campo visual, incluso en la periferia. Probablemente desempeñan un papel especial en la percepción de la simetría y en la generalización de las inversiones. La figura de abajo ilustra su bella geometría: una única neurona de la corteza visual primaria de la rata se proyecta a regiones simétricas de los hemisferios izquierdo y derecho (tomado de Houzel, Carvalho y Lent, 2002). *Utilizado con permiso del Brazilian Journal of Medical and Biological Research.*

como puntadas y es posible observar un exceso de conexiones que fomentan la simetría.

Si entré en tantos detalles sobre estas observaciones biológicas es porque pueden resultar muy relevantes para la dislexia del desarrollo. Es más, sugieren que los déficits tempranos en la poda sináptica, posibles durante los últimos meses del embarazo o los primeros pocos meses de vida, pueden producir demasiadas conexiones visuales de simetría. ¿Podría este exceso de simetría explicar por qué algunos niños tienen dificultades para diferenciar la izquierda de la derecha, o para distinguir las letras “b” y “d”? Antes de discutir este punto en profundidad, primero voy a examinar cómo hace el cerebro para trazar, finalmente, estas distinciones.

Simetría latente

Si nuestro sistema visual hiciera simétrico todo lo que aprende, cometeríamos errores de inversión todo el tiempo: nos parecería imposible distinguir la “p” y la “q” o nuestro zapato izquierdo del derecho. Por fortuna, parte de nuestro sistema visual preserva la distinción entre la izquierda y la derecha.

Varios autores han señalado (véanse ante todo Ungerleider y Mishkin, 1982; Goodale y Milner, 1992) que nuestra corteza visual está dividida en dos grandes corrientes funcionales, casi como si estuviéramos dotados de dos sistemas visuales distintos en el mismo cerebro. La ruta ventral, de la que me he ocupado en mayor medida hasta aquí, se concentra en el reconocimiento invariante de objetos. Es altamente sensible a la identidad de las imágenes, a la forma y al color, pero ignora el tamaño y la orientación espacial, incluyendo la diferencia entre la izquierda y la derecha. Sin embargo, hay una segunda ruta visual, la ruta dorsal, que pasa a través de la corteza parietal y se ocupa fundamentalmente del espacio y de la acción. En esta ruta, el color o la naturaleza exacta de un objeto dado no son de ninguna manera tan importantes como su distancia, su posición, su velocidad y su orientación en el espacio, es decir, todos los parámetros que determinan cómo deberíamos interactuar con él. David Milner y Mel Goodale resumen esta distinción fundamental en dos palabras: la ruta ventral se ocupa del “qué” y la ruta dorsal del “cómo”.

“¡En el principio era la acción!”, dice el Fausto de Goethe. Si logramos distinguir la izquierda de la derecha, probablemente se lo debemos a la ruta del “cómo”. Durante la infancia aprendimos que nuestra

mano derecha se usa para dibujar, escribir, ¡y, en las familias católicas, para hacer la señal de la cruz! El sistema del “cómo” debe ser capaz de diferenciar la derecha y la izquierda, porque esta información es crucial para los gestos motores. No usamos el mismo gesto para asir una cacerola si señala hacia nuestra izquierda o hacia nuestra derecha: nuestra ruta dorsal adapta automáticamente nuestros gestos a la reorientación de los objetos, aunque nuestro sistema ventral, que es insensible a la orientación, nos dice que se trata del mismo utensilio de cocina en ambos casos. También el sistema dorsal es lo que nos permite imaginar gestos o movimientos puramente virtuales. Lo utilizamos siempre que damos vuelta los objetos en el ojo de la mente, leemos un mapa, o decidimos si dos imágenes muestran el mismo objeto desde diferentes ángulos.

En resumen, nuestro cerebro se comporta como si estuviera habitado por dos expertos visuales diferentes. El primero, al que llamaré el “recolector”, reconoce y etiqueta los objetos, pero le presta poca o ninguna atención a la localización y la orientación en el espacio. El segundo, el “trabajador manual”, actúa, compara, manipula... pero no logra identificar los objetos que manipula.

Nuestros dos sistemas visuales en general cooperan el uno con el otro en grado tal que no nos damos cuenta de la división del trabajo. Las lesiones cerebrales, sin embargo, exponen ocasionalmente estas divisiones internas. El investigador escocés Oliver Turnbull ha estudiado docenas de pacientes en los que una lesión cerebral indujo disociaciones notables, a veces tan finas como el filo de una navaja. Tomemos en consideración a dos pacientes, el señor D. M., que sufrió un traumatismo de cráneo, y la señora L. C., que sufrió múltiples ataques cerebrales en la región ténporo-parietal derecha (Turnbull, 1997; Turnbull, Beschin y Della Sala, 1997). Turnbull les mostró imágenes de objetos familiares orientados en diferentes direcciones: un helicóptero cabeza abajo, un canguro parado, un teléfono rotado 90°, y así sucesivamente. Cuando se les pidió que los nombrara, D. M. falló, mientras que L. G. tuvo un desempeño bastante bueno. Cuando se les pidió que decidieran si los objetos estaban en su posición apropiada, ocurrió lo contrario: D. M. tuvo un desempeño sin errores, incluso para objetos que ya no reconocía, mientras que L. G., no. En D. M., la ruta ventral –es decir, la del “qué”– estaba muy alterada, mientras que en L. G. era la ruta dorsal, la del “cómo”, la que ya no funcionaba.

La misma disociación entre la identidad de los objetos y su orientación se da en los monos macacos. Las lesiones de la corteza temporal ventral hacen que el animal no pueda distinguir formas tan simples

como un círculo y una cruz, pero no tienen un rol en la distinción de la orientación de las formas (por ejemplo, “6” frente a “9” o “b” frente a “d”). Luego de una lesión en la ruta parietal dorsal, ocurre lo opuesto: el animal, como un niño pequeño, puede diferenciar una “a” y una “b”, pero no una “b” y una “d” (Walsh y Butler, 1996).

La ruta dorsal del “cómo” puede descomponerse en múltiples circuitos, cuya organización recién está empezando a comprenderse. Algunas regiones están relacionadas con los gestos de las manos; otras, con la programación de los movimientos de los ojos; y otras más codifican diferentes tipos de relaciones espaciales. Los parámetros de distancia, tamaño, número, forma, movimiento y orientación dependen de subregiones parcialmente distintas de la corteza parietal. En particular, luego de una lesión parietal derecha, no es infrecuente que un paciente pierda selectivamente la habilidad de diferenciar la izquierda y la derecha. Este tipo de lesión revela la simetría latente que procesa nuestro sistema tétoro-occipital ventral del “qué”.

Oliver Turnbull y Rosaleen McCarthy describieron uno de los primeros casos convincentes de este síndrome de “ceguera para la simetría” en R. J., un hombre de sesenta y un años que sufrió lesiones parietales bilaterales debido a una trombosis coronaria (Turnbull y McCarthy, 1996). R. J. insistía en que no podía ver *ninguna* diferencia entre un objeto y su imagen especular. Si las dos imágenes se superponían, admitía que las imágenes no estaban perfectamente alineadas. Pero tan pronto como se las separaba, ya no notaba las diferencias. “Sé, por lo que usted hizo, que deberían ser diferentes”, decía, “pero cuando yo miro una y después la otra, se ven exactamente iguales para mí”.

Para explorar esta extraña patología, Turnbull y McCarthy le presentaron a R. J. tres imágenes casi idénticas; su tarea era identificar una que era distinta de las demás. R. J. no tenía dificultades para detectar cambios en la identidad del objeto incluso si eran sutiles (por ejemplo, un conejo con cuatro orejas). También podía localizar un conejo cabeza abajo. Sin embargo, sorprendentemente, no era capaz de encontrar un conejo que miraba hacia la derecha en un grupo de varios otros conejos que miraban hacia la izquierda (figura 7.6). Desde aquel momento fueron reportados otros casos de “ceguera para la simetría” (Davidoff y Warrington, 1999, 2001; Priftis, Rusconi, Umiltà y Zorzi, 2003; véanse también Feinberg y Jones, 1985; Riddoch y Humphreys, 1988; Warrington y Davidoff, 2000). Ya sea que se les pida a los pacientes que respondan a dibujos de animales, herramientas u objetos de alambre completamente nuevos, son inútiles si tienen que distinguir entre un objeto y su imagen

invertida. Su lesión parietal dorsal los priva de cualquier información acerca de la izquierda y la derecha, y su sistema visual ventral, que está intacto, parece ciego a la orientación.

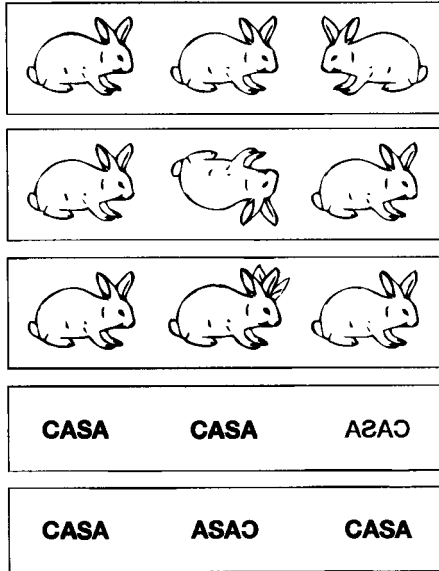




Figura 7.6. Luego de una lesión cerebral, algunos pacientes ya no pueden diferenciar imágenes simétricas. Para probar su percepción de la orientación espacial, Oliver Turnbull y Rosaleen McCarthy (1996) diseñaron una prueba en la que los pacientes debían detectar, en cada fila, la imagen distinta de las demás. El paciente R. J. fallaba sistemáticamente cuando la diferencia se encontraba en la orientación de izquierda-derecha de las imágenes (fila de arriba), pero tenía buenos resultados en todo el resto de las pruebas, incluyendo aquellas que dependían de la orientación de palabras o de letras (filas de abajo). *Utilizado con permiso de Neuropsychologia.*



Romper el espejo

Sin embargo, hay una excepción notable a la ceguera para la inversión, que nos trae de regreso al núcleo central de nuestro tema: la lectura. Cuando los pacientes con ceguera a la simetría leen, no tienen dificulta-

des con la izquierda y la derecha. Todos logran detectar si las letras y las palabras están escritas normalmente o en su forma invertida. No tienen problemas para localizar la palabra que no corresponde en una lista en la cual la intrusa es la inversión de las letras individuales (RAZÓN - ΡΑΖΟΝΙ), la palabra completa (SALUD - DULAS), o ambas cosas (FIEBRE - ΠΕΡΒΕΡΕ). Todas estas diferencias son tan obvias para ellos como lo son para nosotros, aunque debido su lesión no ven diferencia alguna entre formas no verbales en espejo, como  y .

Este simple hecho confirma que la lectura depende de reglas especiales. Parte de la ruta ventral en los lectores expertos desaprende la generalización de las imágenes especulares. Cuando damos los primeros pasos de la lectura, inicialmente necesitamos que nuestro sistema dorsal distinga letras como “b” y “d”. Sólo esta estructura puede decirnos si una letra “mira” hacia la izquierda o hacia la derecha, mientras que el sistema ventral con que nacemos nos dice que ambas imágenes representan la misma forma. Paulatinamente, sin embargo, nuestro sistema ventral aprende a quebrar la simetría. Deja de considerar a “b” y “d” como dos perspectivas del mismo objeto. Por último, les asigna distintas poblaciones neuronales que dejan de generalizar las inversiones en espejo. Estos detectores asimétricos de letras sirven como puntos de acceso para la extracción de estadísticas detalladas sobre la lectura, que sólo se aplican a palabras bien orientadas. De este modo, la corteza tétoro-occipital adquiere una jerarquía neuronal asimétrica para el reconocimiento visual de las palabras. A diferencia de sus regiones corticales vecinas del reconocimiento de objetos y de caras, que continúan generalizando los cambios de izquierda-derecha, nuestra arquitectura para la lectura deja de confundir las imágenes especulares.

Este proceso de ruptura de la simetría parece ocurrir exclusivamente para los caracteres escritos. Incluso así, sólo tiene sentido si el sistema de escritura es en sí mismo fuertemente asimétrico. Este no siempre es el caso. Los jeroglíficos egipcios, por ejemplo, se podían escribir en ambas direcciones, de derecha a izquierda o de izquierda a derecha. En el último caso, todos los caracteres se invertían. Las figuras humanas y los animales indicaban la dirección de la lectura: su cabeza siempre miraba hacia el comienzo de la línea. Del mismo modo, el griego antiguo se escribía en “bustrófedon”, literalmente “como ara el buey”: una línea se escribía de izquierda a derecha y la siguiente de derecha a izquierda, en espejo. Entonces, ni los egipcios ni los griegos necesitaban romper la simetría de su sistema visual ventral. Es más, sus curiosos sistemas de escritura bidireccional probablemente nunca se podrían haber adopta-

do si el sistema visual de los humanos no tratara espontáneamente las formas  como si fueran idénticas. Aún hoy, algunos sistemas de escritura no imponen la estricta ruptura de la simetría. El chino tiene varios caracteres que son pares en espejo comparables a nuestra “b” y “d”, como 信 e 訃, o 亻 y 卜. Otros sistemas de escritura, como el tamil, sólo utilizan elegantes letras cursivas como இ, ஞ or ஞற, que no permiten la confusión por simetría. Esta diferencia cultural lleva a una capacidad perceptual disminuida: los lectores de tamil confunden fácilmente imágenes invertidas y piensan, por ejemplo, que el triángulo ▲ está presente en la imagen  (Danziger y Pederson, 1998).

La simetría rota... ¿o la simetría oculta?

Aun en los lectores del alfabeto latino, que pueden distinguir la “b” de la “d”, no está claro si la percepción de la simetría alguna vez desaparece totalmente. ¿Nuestro sistema visual realmente deja de generalizar entre las imágenes especulares de las palabras? ¿O la inversión sigue ocurriendo a pesar de que no la notemos? Samuel Orton postuló que el hemisferio derecho de un lector competente puede seguir representando las letras invertidas. Para Orton, aprender a leer requería simplemente enfocarse en la orientación correcta de las palabras. Aunque se la ignorara, su imagen especular continuaba presente en el hemisferio no dominante. El espejo no se rompía, sino que simplemente se escondía.

La idea de que las imágenes especulares de las palabras que leemos nos acechan tal vez no sea tan absurda como puede parecer en un principio. Durante las primeras etapas del procesamiento visual, las letras son formas sin sentido. Antes de que nuestro cerebro las reconozca, probablemente se las procesa como cualquier otra imagen visual, tal vez incluso mientras leemos. En este caso, la transferencia entre hemisferios todavía debería darlas vuelta como un guante. De hecho, no somos totalmente inútiles cuando se nos enfrenta con palabras en espejo. Con algún esfuerzo, logramos descifrarlas de a una letra por vez. Esto sugiere que el reconocimiento de letras individuales es posible en las imágenes en espejo, incluso si no accedemos a la forma visual más profunda de la forma visual de la palabra.

En el nivel motor, muchas anécdotas sugieren que poseemos programas latentes que se adaptan para la escritura en espejo. Si intenta escribir en espejo, probablemente no podrá, pero intente escribir en un papel ubicado bajo la mesa, como si pudiera ver a través de ella y notar

que los gestos en espejo apropiados aparecen de forma bastante natural. De hecho, parece casi demasiado fácil para contarla como escritura en espejo, pero si filmara su mano y volviera a verlo, vería que se mueve exactamente como corresponde para escribir de derecha a izquierda. Del mismo modo, su mano derecha puede escribir en la dirección correcta mientras que la mano izquierda escribe simultáneamente en espejo. La escritura en espejo con frecuencia es más fácil con la mano izquierda (para los diestros), lo que sustancia la hipótesis de que la transferencia interhemisférica tiene un papel seguro.

La comprobación más convincente de la representación latente de la lectura y la escritura en espejo, sin embargo, procede una vez más de los pacientes lesionados cerebrales. Aproximadamente uno de cada cuarenta pacientes de este tipo transitoriamente da muestras de escritura en espejo. Este curioso síntoma casi siempre aparece cuando la hemiplejía obliga a un paciente diestro a escribir con su mano izquierda. En la mayoría de los casos, el déficit sólo concierne a la escritura, no a la lectura: a menudo el paciente es incapaz de leer las palabras que ha escrito en espejo. Sin embargo, hay unos pocos casos llamativos en los cuales luego de una lesión cerebral se dan tanto la lectura como la escritura en espejo.

Eso sucedió con la señora H. N., una mujer estadounidense de cincuenta y un años que fue víctima de un accidente de auto (Gottfried, Sancar y Chatterjee, 2003). Luego de su accidente, la señora H. N. sufría de un déficit de atención moderado, alteraciones de memoria y de planificación relacionadas con una disminución bilateral en el metabolismo del lóbulo frontal. Su queja principal, sin embargo, era que ya no podía leer ni escribir. Un día, cuando manejaba su auto, se dio cuenta de que las señales de "PARE" decían "ERAP". Se dio cuenta, de repente, que para ella era más fácil leer y escribir en espejo que de la forma normal. Los experimentos de laboratorio confirmaron esta sorprendente afirmación. Sin importar qué mano utilizara, la escritura de la señora H. N. estaba plagada de errores cuando escribía de izquierda a derecha. Cuando escribía en la dirección opuesta, su escritura mejoraba, aunque seguía siendo algo torpe (figura 7.7).

Lo que resultó aún más sorprendente fue que la lectura de la señora H. N. era más rápida y más precisa si se invertían las palabras. Cuando se le pedía que reconociera una palabra escrita de derecha a izquierda, le tomaba un segundo o, en términos generales, el tiempo normal. Sin embargo, al presentarle la palabra escrita de forma correcta, la misma tarea le tomaba más de dos segundos y medio, es decir que su desempeño se volvía cuatro veces más lento que lo normal. El mismo hallazgo se

El de la señora H. N. no es para nada un caso aislado. En las revistas neuropsicológicas se ha reportado un puñado de casos similares. Desafortunadamente, no los suficientes como para extraer conclusiones fuertes acerca de los mecanismos cerebrales subyacentes (Streifler y Hofman, 1976; Heilman, Howell, Valenstein y Rothi, 1980; Wade y Hart, 1991; Lambon-Ralph, Jarvis y Ellis, 1997; Pflugshaupt y otros, 2007). Las lesiones cerebrales son a menudo difusas y están pobremente localizadas, muchas veces debido a una lesión del cráneo: es probable que varias regiones del cerebro deban verse afectadas en simultáneo para que aparezca este excepcional síndrome de la lectura en espejo. También sería una exageración afirmar que el desempeño en las imágenes invertidas se acerca al de los lectores normales. De hecho, la escritura en espejo de los pacientes en general es torpe, y todos tienden a ser lentos al leer las palabras en espejo, ya que lo hacen de una forma similar a la decodificación de letra por letra que se ve en los lectores pequeños.

El comportamiento de la señora H. N. muestra una tercera clave interesante: durante la lectura en espejo, a pesar de que leía relativamente bien, con frecuencia fallaba en palabras inglesas irregulares como

nmemow
lenolo
rionh

Esto significa que sólo parecía ser capaz de leer a través de la lenta ruta de conversión de grafemas en fonemas.

En general, estas observaciones sugieren que los lectores que leen en espejo han perdido parte de sus circuitos normales de lectura. Conjeturo que, en quienes leen invertido, las lesiones cerebrales eliminan los mecanismos paralelos del reconocimiento de las palabras escritas. Por tanto, los pacientes utilizan las unidades intactas de reconocimiento de letras para descifrar meticulosamente las palabras. Es probable que, en los cerebros de quienes han leído mucho, este nivel de reconocimiento de letras sea el único que no ha desaprendido cómo reconocer las imágenes especulares de las palabras. Que los pacientes hayan preservado este nivel explicaría por qué todavía pueden leer palabras invertidas, incluso si su ritmo es lento y los errores de regularización revelan una estrategia de decodificación de letra por letra.

Esta explicación, sin embargo, todavía no logra explicar por qué la gran mayoría de los pacientes lesionados cerebrales que leen letra por letra no tienen un don para la lectura en espejo. Se necesita otro ingre-

diente: sospecho que se trata de un segundo déficit, una falta de habilidad para percibir la organización espacial de los estímulos. La mayoría de los lectores en espejo manifiesta trastornos de orientación espacial además de los déficits de lectura. Un paciente confundía la izquierda y la derecha y dibujaba mapas en espejo de Australia y del Reino Unido (Lambon-Ralph, Jarvis y Ellis, 1997). Otro no podía recordar cómo dibujar la esfera de un reloj y parecía haber perdido la noción del tiempo y de los números: afirmaba que el jueves venía después del viernes, ¡y que su cumpleaños siguiente al número cuarenta y cuatro sería el número cuarenta y tres (Streifler y Hofman, 1976)! La señora H. N., como mencioné antes, no tenía alteraciones espaciales obvias, pero tenía dificultades para planificar una estrategia y seguirla.

Este tipo de trastornos espaciales y de estrategia puede tener un papel en la lectura en espejo. Cuando leemos, las regiones parietal y frontal del cerebro realizan cálculos espaciales cruciales, primero para orientar nuestros ojos, luego para enviar señales de atención de arriba abajo a nuestras áreas visuales para que puedan seleccionar una región-blanco para la lectura. Especulo que, al alterar su dirección, el daño de una de estas áreas podría perturbar la lectura. Como resultado, los pacientes adoptan estrategias anómalas, ya sea comenzar con el lado derecho de las palabras, o prestarles atención sólo a las representaciones en espejo que están presentes pero ocultas en la mayoría de nosotros. Esta interpretación recuerda la sugerencia de Orton de que los lectores expertos utilizan la atención selectiva para no atender a las representaciones de las palabras que están orientadas de forma incorrecta. Los pacientes con lectura en espejo han perdido este mecanismo básico de atención espacial.

Si bien hasta el momento nos es imposible explicar por completo el fenómeno, la lectura en espejo revela nueva información a propósito de un aspecto bastante oculto de la lectura. Un lector en espejo bien puede estar latente en cada uno de nosotros, aunque esta capacidad inactiva sólo se manifieste cuando algunas, múltiples y hasta ahora no bien definidas lesiones cerebrales la ponen en acción.

La simetría, la lectura y el reciclaje neuronal

Para resumir este capítulo, señalemos que los circuitos visuales del cerebro del niño tienen varias propiedades útiles para la lectura, y una que en cambio es perjudicial: la generalización de las imágenes simétricas.

Esta propiedad antigua, ya presente en los monos y las palomas, explica por qué los niños cometen errores en espejo cuando comienzan a leer y a escribir. Ven las letras “b” y “d” como si fueran el mismo objeto visto desde dos ángulos diferentes.

Mi hipótesis es que uno debe ir más allá de la etapa del espejo para volverse un lector experto; en rigor, debemos “desaprender” nuestra capacidad espontánea para la generalización de las imágenes simétricas. ¿Pero cómo? Es probable que la distinción entre la izquierda y la derecha comience en la ruta visual dorsal que programa los gestos en el espacio. Cuando los niños trazan letras, asocian cada una con un gesto distintivo. Este aprendizaje espacial y motor se transfiere gradualmente a la ruta visual ventral para el reconocimiento de objetos. Los lectores pequeños aprenden a prestarle atención a la orientación de las formas. Comienzan a ver las letras como curvas de dos dimensiones, más que como formas tridimensionales que pueden rotar en el espacio. Poco a poco, se vuelven hábiles para identificar grupos de letras. Esta representación de bigramas, grafemas y morfemas se desarrolla exclusivamente en el hemisferio izquierdo, y sólo para letras que aparecen en una orientación adecuada, o sea, de izquierda a derecha.

En este punto, desaparece la simetría. El lector experto posee un conocimiento rico de la estadística de las letras en la escritura normal, pero en esencia no percibe la escritura en espejo. El único resto de esta capacidad inicial es una representación latente, inconsciente de las imágenes especulares de las letras que el sistema de lectura ya no explota.

Que a un niño normal le lleve varios meses desaprender la generalización de las imágenes simétricas avala con fuerza la hipótesis del reciclaje neuronal. Si el cerebro fuera una tábula rasa, vacío de cualquier estructura, pero capaz de absorber todo lo presente en su entorno cultural, no habría motivos para aprender la lectura en espejo. Es difícil imaginar cómo el cerebro podría adquirir las representaciones en espejo que nunca ve a su alrededor y que son inútiles para la lectura normal. El reciclaje, por otro lado, implica que antes de que las regiones corticales se adapten para otros usos, ya tienen propiedades estructurales previas heredadas de la evolución. Cada región cortical comienza con un conjunto de recursos y lastres que sólo se reacomodan parcialmente con el aprendizaje. La cultura humana funciona sobre la base de los sesgos biológicos existentes y debe descubrir cómo pueden adaptarse para un nuevo uso.

Un caso sorprendente de dislexia en espejo

Esta forma de ver la lectura puede, hasta cierto punto, ayudar a comprender mejor las dificultades de aprendizaje de los niños. En la mayoría de los disléxicos, como señalé en el capítulo 6, los problemas para la lectura se deben a un déficit central en el procesamiento de los sonidos del habla. También señalé que, sin embargo, otro número pequeño de niños probablemente sufre de un déficit principalmente visual. En estos casos el problema podría deberse, al menos en parte, al desaprendizaje de la simetría.

Las personas en general creen que un niño disléxico no sólo tiene un déficit de lectura, sino que tampoco logra distinguir la izquierda de la derecha. De hecho, la orientación de las letras sí plantea dificultades específicas para un gran número de niños disléxicos, que a menudo se confunden la “p” con la “q” o la “b” con la “d” (Wolff y Melngailis, 1996). Sin embargo, estos problemas se presentan a todos los niños, y no sólo a los disléxicos. Además, son sólo transitorios. Los errores de inversión alcanzan su máximo entre los 7 y los 10 años de edad, cuando se aprende a reconocer letras, y luego desaparecen. En cuanto grupo, los niños disléxicos no son particularmente buenos para la lectura en espejo. Las dificultades visuales no parecen tener un rol dominante en la mayoría de ellos (Lieberman y otros, 1971; Fischer, Lieberman y Shankweiler, 1978; Wolff y Melngailis, 1996). Los déficits visuales transitorios que sí ocurren pueden ser simplemente resultado de un trastorno fonológico central: si no puedo darme cuenta de la diferencia entre los fonemas *b* y *d*, me tomará más tiempo darme cuenta de que las formas “b” y “d” hacen referencia a letras distintas. Por pura mala suerte, la pronunciación de las letras simétricas también tiende a ser confusa, porque todas hacen referencia a fonemas similares (todas son consonantes “oclusivas” que se producen al detener repentinamente el flujo de aire del tracto vocal). No es sorprendente que este conjunto de dificultades plantee problemas específicos para niños con déficits fonológicos.

En unos pocos casos, sin embargo, la confusión de izquierda y derecha sí parece ser la causa verdadera de la dislexia. Un ejemplo sorprendente de esto se puede encontrar en el caso de una mujer joven conocida como A. H., que el psicólogo estadounidense Michael McCloskey estudió en gran detalle (McCloskey y otros, 1995; McCloskey y Rapp, 2000). La discapacidad de A. H. se diagnosticó bastante tarde, cuando ella tenía poco más de veinte años. Para ese momento, era una brillante

estudiante de psicología en la Universidad Johns Hopkins. Al final de una de las clases de McCloskey sobre la dislexia del desarrollo, ella le contó que en su propia niñez había tenido dificultades severas en lectura y en aritmética. McCloskey decidió someterla a unas pocas pruebas cognitivas. ¡Hizo bien! Esta brillante estudiante resultó estar sufriendo un tipo extraño y fascinante de dislexia.

Los problemas de lectura de A. H. parecían provenir de la confusión espacial esencialmente en todos los niveles del proceso de lectura. Cuando leía letras aisladas, sus errores consistían casi exclusivamente en inversiones espaciales. Por ejemplo, confundía una “p” con una “q” y una “m” con una “w”. Es interesante, sin embargo, que casi nunca erraba con las letras cuya identidad no dependía de su orientación espacial, como “g” o “k”. Cuando leía palabras, la señorita A. H. otra vez invertía las letras individuales, pero también confundía su posición dentro de la cadena (figura 7.8): “snail” [caracol] se convertía en “nails” [uñas]. Por último, en el nivel de las oraciones, con frecuencia invertía el orden de las palabras, en especial cuando este no estaba fuertemente limitado por el contexto.

En resumen, A. H. parecía vivir en un mundo visual inestable en que las relaciones espaciales nunca dejaban de fluctuar. Las letras parecían flotar, haciendo que varias palabras se convirtieran en cadenas ambiguas. Incluso una simple palabra como “brain” [cerebro] se volvía un conjunto de trasposiciones posibles y de anagramas como “drain” [desagüe] o “brian”. Sólo podía resolver estas ambigüedades a través del contexto. Para probar hasta dónde llegaba su confusión, McCloskey le pidió que leyera oraciones en que las letras y las palabras estaban desordenadas, como “El mecrado ed valroes ze ve muy afecdado bor las persepcoines del púplico”. A. H. no sólo podía leer estas oraciones con facilidad, ¡sino que las corregía espontáneamente y afirmaba sin dudar que el 60% de las oraciones era perfectamente normal! Como había vivido con este déficit toda su vida, no se daba cuenta de la gran inestabilidad de su visión espacial.

El déficit de A. H. no era sólo de la lectura. Ella no era capaz de hacer una copia bien orientada de siquiera un dibujo sencillo. Cuando copiaba una imagen, había un 50% de posibilidades de que el resultado estuviera invertido (figura 7.8). Sus registros de la escuela ya mostraban varios de estos tipos de inversiones. Cuando con su clase de arte hizo un viaje escolar a la Phillips Collection en Washington DC, realizó un croquis a partir del cuadro de Renoir *El almuerzo de los remeros*, alegre retrato grupal veraniego que muestra hombres y mujeres que flirtean mientras se divierten en una adorable *guinguette* (un café al aire libre) junto al río. Su dibujo se concentraba fundamentalmente en los sombreros,

pero había logrado sistemáticamente invertir sus ubicaciones: los que aparecían del lado izquierdo de la pintura habían terminado del lado derecho de su dibujo, y viceversa.

Palabra estímulo	Respuesta en la lectura
dog	bog
bone	done
pig	sig
star	tras
rib	rip
sun	nuns
skirt	skit
dust	dusk

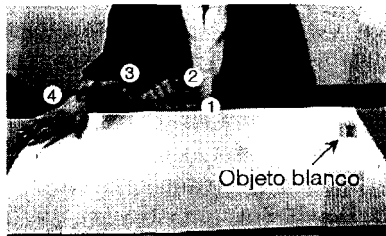
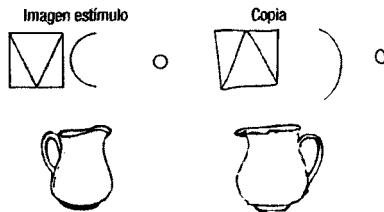


Figura 7.8. En unos pocos casos, la dislexia parece estar causada por un exceso de simetría en el sistema visual. En una joven disléxica, A. H., los problemas de lectura afectaban fundamentalmente las letras reversibles “b”, “d”, “p” y “q”, pero también el orden y, un poco menos, la identidad de otras letras (arriba). A. H. a menudo invertía la orientación de los dibujos que intentaba copiar, especialmente por el eje izquierda-derecha (medio). Cuando intentaba agarrar rápidamente un objeto (abajo), su mano muchas veces iba hacia la localización que era exactamente simétrica, como muestra esta fotografía de exposición múltiple (tomado de McCloskey y otros, 1995; McCloskey y Rapp, 2000). *Utilizado con permiso del Journal of Memory and Language y de Psychological Science.*

Fue más sorprendente aún que A. H. ocasionalmente cometiera errores en espejo con algunos de los gestos más triviales de la vida cotidiana. Una simple prueba requería que ella cerrara los ojos mientras alguien le ponía un cubo de madera enfrente. Cuando escuchaba una señal, tenía que abrir los ojos y agarrar el cubo tan rápido como pudiera. Una cámara de video, que filmaba la escena, capturó un fenómeno fascinante (figura 7.8): ¡en dos tercios de los ensayos, su mano inicialmente iba hacia el lado contrario! Un poco después viraba en la dirección correcta. A. H. invertía la izquierda y la derecha muy a menudo en el test en que debía asir el cubo, tanto que su desempeño fue peor que si hubiera respondido al azar. Sin embargo, sólo la dirección inicial del gesto era errada: todos los otros parámetros—el ángulo, la distancia y la velocidad—eran apropiados. A. H. obviamente sufría un problema extremadamente selectivo de inversión del espacio. Su sistema visual parecía cambiar constantemente de izquierda a derecha, como si un espíritu maligno la forzara a habitar el mundo que Alicia encontró del otro lado del espejo.

En el transcurso de su trabajo con A. H., Michael McCloskey y sus colegas descubrieron de forma fortuita cómo podían ayudar a su paciente. Cuando el objeto en cuestión se movía, parpadeaba o se presentaba por menos de una décima de segundo, su desempeño mejoraba. De hecho, cuando las letras, palabras o frases parpadeaban a diez ciclos por segundo, el parpadeo era suficiente para elevar su desempeño y llevar su puntaje en lectura a un nivel normal. Este fenómeno es muy misterioso, y entra en conflicto directo con la opinión predominante de que la dislexia es el resultado de un déficit en la ruta “magnocelular” para el procesamiento visual rápido (Galaburda y Livingstone, 1993; Demb, Boynton y Heeger, 1997; Demb, Boynton, Best y Heeger, 1998; Demb, Boynton y Heeger, 1998; Stein, 2001). Con A. H., ¡el parpadeo era tan efectivo que comenzó a leer bajo una luz estroboscópica!

El caso de A. H. es una excepción tan grande a todo lo que se ha escrito en la literatura científica sobre la dislexia que plantea más preguntas que respuestas. ¿Cuántos niños etiquetados como disléxicos tienen, en realidad, como ella, un déficit primario en la percepción espacial? ¿Otros disléxicos también se beneficiarían con una luz estroboscópica? Sobre todo, ¿qué mecanismo de déficit puede explicar esta misteriosa inversión en espejo del mundo visual? ¿A. H. sufría de una lesión temprana en la ruta dorsal que localiza los objetos en el espacio y distingue la izquierda de la derecha? ¿O su déficit venía de la ruta ventral, que tal vez padecía un exceso de conexiones de imágenes especulares del cuer-

po calloso? O, tal vez, un supuesto “déficit de desaprendizaje”: durante la adquisición de la lectura, un mecanismo de eliminación de sinapsis deficiente la dejó con el sistema visual de un niño pequeño, incapaz de percibir la diferencia entre una palabra y su imagen en espejo. Las imágenes cerebrales sin duda deberían arrojar algo de luz sobre estas preguntas abiertas.

En el análisis final, el fascinante caso de A. H. nos recuerda que la atención visuoespacial es de importancia prioritaria para el desarrollo normal de la lectura (Valdois, Bosse y Tainturier, 2004; Bosse, Tainturier y Valdois, 2007). Las buenas habilidades de decodificación no provienen sólo de asociaciones entre letras y sonidos del habla; las letras también deben ser percibidas en su orientación apropiada, en la localización espacial justa y en su orden correcto de izquierda a derecha. En el cerebro del joven lector, debe tener lugar una colaboración entre la ruta visual ventral, que reconoce la identidad de las letras y de las palabras, y la ruta dorsal, que codifica su posición en el espacio y programa los movimientos oculares y la atención. Cuando cualquiera de estos actores se muestra vacilante, la lectura fracasa rotundamente.

Que para la lectura hace falta entrenar tanto la ruta dorsal como la ventral puede explicar el sorprendente éxito de los métodos de enseñanza que enfatizan los gestos motores. En los preescolares que siguen el método que inició la psicóloga italiana Maria Montessori, una de las actividades que prepara a los niños para la lectura consiste en trazar los contornos de grandes letras cortadas de papel de lija. Se les enseña a los niños a hacer esto de izquierda a derecha, prestándole mucha atención al orden en que se dibujan los trazos. Esta actividad une gestos, tacto, visión y una sensación de espacio. Como se impone una ruta asimétrica, que siempre va de izquierda a derecha, se simplifica, sin duda, la ruptura de la simetría en la ruta visual ventral. De hecho, el psicólogo francés Édouard Gentaz ha demostrado experimentalmente que, en los niños normales, este método multisensorial es más eficiente que el entrenamiento fonológico y visual clásico por sí solo (Gentaz, Colé y Bara, 2003).

Los estudios multisensoriales abren toda una línea de investigación futura. Las imágenes cerebrales tal vez permitan mostrar que el método táctil mejora las conexiones funcionales que unen las rutas dorsal y ventral. La exploración espacial y táctil de las letras también podría ayudar a los niños que sufren déficits lectores de origen visual. Una intervención basada en el tacto tal vez le permitiría que A. H. mejorase su lectura. A medida que progrese la ciencia de la lectura, confío en que

no sólo vamos a obtener una mejor comprensión de cómo el cerebro humano se convierte a la lectura. Este nuevo conocimiento debería, a su vez, permitir el desarrollo de mejores técnicas de enseñanza y rehabilitación adaptadas de manera óptima al cerebro del niño.

8. Hacia una cultura de las neuronas

La lectura abre muchas perspectivas nuevas sobre la naturaleza de las interacciones entre el aprendizaje cultural y el cerebro. El modelo del reciclaje neuronal debería extenderse a otros inventos culturales más allá de la lectura. La matemática, el arte y la religión también pueden construirse como dispositivos limitados, ajustados a nuestros cerebros de primates por milenios de evolución cultural. Sin embargo, hay una pregunta clave que todavía no ha encontrado respuesta: ¿por qué los humanos son la única especie que ha creado una cultura y que, por eso, concibe nuevos usos para sus circuitos cerebrales? Sostengo que la expansión de un “espacio de trabajo neuronal consciente”, un vasto sistema de conexiones corticales, nos permite el reacomodamiento flexible de los objetos mentales para lograr nuevos propósitos.

Cuando se proclamó que la Biblioteca abarcaba todos los libros, la primera impresión fue de extravagante felicidad. Todos los hombres se sintieron señores de un tesoro intacto y secreto.

Jorge Luis Borges, "La Biblioteca de Babel"

Si Dios existiera, sería una biblioteca.

Umberto Eco

A medida que llegamos al final de nuestro viaje dentro del cerebro del lector, se vuelve obvio que podemos leer sólo por un golpe de suerte. Si los libros y las bibliotecas han tenido un rol predominante en la evolución cultural de nuestra especie, es porque la plasticidad cerebral nos permitió reciclar nuestro sistema visual de primates en un instrumento del lenguaje. La invención de la lectura llevó a la transformación de nuestros circuitos cerebrales en un dispositivo de lectura. Obtuvimos una nueva habilidad, casi mágica: la capacidad para "escuchar a los muertos con nuestros ojos". Pero la lectura sólo fue posible porque heredamos áreas corticales que podían aprender a conectar los trazos vistos con los sonidos del habla y con los significados.

Tal vez cause poca sorpresa que nuestros circuitos cerebrales estuviesen adaptados de forma imperfecta para la lectura. Una resolución visual pobre, una curva de aprendizaje empinada y una molesta propensión a la simetría en espejo son testigos de nuestra evolución pasada. Desafortunadamente, la evolución no anticipó que nuestros circuitos cerebrales un día se reciclarían para el reconocimiento de palabras. Pero la imperfección de nuestro equipamiento no impidió que muchas generaciones de escribas, de la antigua Sumeria en adelante, encontraran formas de aprovechar estos circuitos. Diseñaron sistemas de escritura eficientes cuyo refinamiento con el paso de los años permitió que las marcas en esta página le hablen a su cerebro.

Resolver la paradoja de la lectura

En las primeras páginas de este libro, me preguntaba cómo la invención de la escritura pudo aparecer en un cerebro originariamente no diseñado para esa habilidad. ¿Cómo hizo el primate humano, con un genoma sin modificaciones, para convertirse en un ratón de biblioteca? El misterio, que llamé “paradoja de la lectura”, sólo creció cuando descubrimos que, a pesar de que la lectura sólo existe desde hace unos pocos miles de años, los cerebros de todos los lectores adultos están equipados con un mecanismo de lectura finamente calibrado.

Ahora sabemos que no existe tal paradoja. El cerebro humano nunca evolucionó para la lectura. La evolución biológica es ciega, ¡y no existe un arquitecto divino que haya conectado nuestro cerebro de manera tal que pudiéramos leer este libro! La única evolución fue cultural: la lectura en sí misma evolucionó de manera paulatina hacia una forma adaptada a nuestros circuitos cerebrales. Luego de siglos de prueba y error, los sistemas de escritura en todo el mundo convergieron en soluciones similares. Todos utilizan un conjunto de formas que son lo suficientemente simples como para almacenarse en nuestro sistema visual ventral y están conectadas con nuestras áreas del lenguaje. La evolución cultural adaptó nuestros sistemas de escritura tan bien que hoy en día les lleva sólo unos pocos años invadir los circuitos neuronales del lector inicial. Presenté la idea de “reciclaje neuronal” para describir la invasión parcial o total que la escritura hace de áreas corticales que originalmente estaban consagradas a una función diferente.

Como creo que los detalles son importantes, me he extendido sobre cómo funcionan nuestros circuitos de lectura. Espero que el lector perdone mis largas digresiones, pero quería explicar dos aspectos esenciales del funcionamiento del cerebro en términos muy concretos. Mi primer objetivo fue demostrar que la adquisición cultural no depende de mecanismos generales de aprendizaje, sino que está situada en circuitos neuronales preexistentes cuya función está estrictamente definida. En el caso de la lectura, estamos bien encaminados para comprender estos circuitos con una precisión cada vez mayor. Actualmente sabemos que estos pertenecen a las vías visuales para el reconocimiento invariante de objetos, presentes en todos los primates. Su rica estructura interna y su capacidad parcial para aprender nuevas formas les ponen un límite a los sistemas de escritura aceptables.

Mi segundo punto, que se desprende del primero, es que las culturas humanas no son las vastas áreas de infinita diversidad y arbitraria inven-

ción que apoyan los científicos sociales. La estructura cerebral tiene un control estricto de las construcciones culturales. La capacidad humana para la invención no es infinita, sino que está restringida por nuestra organización neuronal limitada. Si las culturas humanas presentan una apariencia de gran diversidad, es porque de las múltiples combinaciones de una selección restringida de rasgos culturales fundamentales puede surgir un número exponencial de formas culturales.

En el caso de la lectura, las hipotéticas invariantes culturales son concretas y tangibles. Desde los caracteres chinos hasta el alfabeto, todos los sistemas de escritura se basan sobre un principio morfofonológico: representan de manera simultánea las raíces de las palabras y las estructuras fonológicas. También utilizan un pequeño inventario de formas visuales que se comparten en todo el mundo, y que descubrió Marc Changizi (véase el capítulo 4). Un amplio rango de rasgos universales, limitados neurológicamente, subyace a la aparente diversidad de la escritura.

La universalidad de las formas culturales

En este capítulo final, me gustaría sostener la idea de que la lectura sólo es uno de los muchos ejemplos de cómo la inventiva cultural está restringida por nuestra arquitectura neuronal. Si extendemos el modelo de reciclaje neuronal a otras actividades humanas, deberíamos poder conectarlas con sus mecanismos cerebrales correspondientes. Un vínculo de este tipo nos permitiría comprender las restricciones neuronales que definen el alcance de la inventiva cultural humana. Actualmente esta posibilidad parece aún remota, pero es posible que algún día seamos capaces de listar los ingredientes esenciales de toda la cultura humana (incluidos la familia, la sociedad, la religión, la música, el arte, y más), y comprender cómo cada uno de ellos se vincula con el vasto conjunto de nuestras capacidades cerebrales.

Espero con ansias el auge de esa "cultura de las neuronas" cuyas piedras basales fueron colocadas a lo largo de los últimos treinta años por el neurobiólogo francés Jean-Pierre Changeux (Changeux, 1983, 2002; Changeux y Danchin, 1976; Changeux y Connès, 1989). Una explicación precisa de las diversas dimensiones de la cultura humana hoy en día está a nuestro alcance. Desde esta perspectiva "neuroantropológica", cada rasgo cultural debería en última instancia estar conectado con circuitos neuronales bien definidos, cuyas combinaciones colectivas expli-

carían las múltiples formas que las representaciones culturales pueden adoptar. Debería quedar claro, sin embargo, que no estoy abogando por una reducción directa e ingenua de las costumbres culturales a sólo un gen, molécula o categoría de neuronas. Tal como sucede con la lectura, una serie de leyes debe, en última instancia, vincular las construcciones culturales con sus redes cerebrales relevantes. Estas leyes deben integrar, antes que eliminar, las leyes de la psicología humana. También deben incluir las fuerzas históricas, políticas y económicas que dieron forma a las sociedades humanas.

Esta perspectiva puede parecer abrumadora, pero no estoy solo en la convicción de que podemos llegar allí. Muchos de mis colegas han expresado argumentos similares a favor de la unidad del conocimiento, o *consilience* (Wilson, 1998), entre las humanidades, la psicología y, en última instancia, las ciencias del cerebro. El lingüista Noam Chomsky fue uno de los primeros científicos que insistió con vehemencia respecto de los límites del relativismo cultural:

[De acuerdo con lo que muchos sostienen], la riqueza y la especificidad del instinto de los animales dan cuenta de sus notables logros en algunos ámbitos y su falta de habilidad en otros —así prosigue este argumento—, mientras que los humanos, que no poseen esta estructura instintiva articulada, son libres de pensar, hablar, descubrir y comprender sin este tipo de límites. Tanto la lógica del problema como lo que estamos llegando a comprender sugieren que esta no es la forma correcta para identificar la posición de los humanos en el mundo animal (Chomsky, 1986).

Unos años antes, en 1974, el antropólogo francés Dan Sperber había señalado que “la imagen que se deriva de la literatura etnográfica acumulada no es en modo alguno la de una variabilidad indefinida, sino más bien la de variaciones extremadamente elaboradas dentro de una gama que parece arbitrariamente acotada” (Sperber, 1974). La hipótesis de que la diversidad cultural esconde un conjunto restringido de estructuras mentales universales fue, por supuesto, planteada en primer lugar por el fundador de la antropología estructural, Claude Lévi-Strauss. Recientemente, su teoría se vio ampliamente confirmada por la investigación del antropólogo cognitivo Donald Brown (1991). En su libro *Human Universals*, Brown provee una larga lista de cerca de cuatrocientos rasgos compartidos por todas las culturas. Estos rasgos universales van desde el uso de nombres para los números y colores hasta la territorialidad, las

expresiones faciales, la creación musical, los juegos, los sistemas legales y muchos más.

¿Cuáles son los orígenes de estos rasgos culturales centrales? Sperber sostiene que se originan en la estructura fundamentalmente modular de la mente humana (Sperber y Hirschfeld, 2004; véase también Atran, Medin y Ross, 2005). En un desarrollo de la hipótesis de Jerry Fodor (1983), Sperber ve la mente como una colección de “módulos” especializados que evolucionaron en respuesta a una necesidad de adopción de un ámbito específico de competencia. Para Sperber, cada módulo comienza con un ámbito estrecho de aplicación, limitado a la situación que motivó su evolución. Este ámbito, no obstante, puede extenderse para abarcar un rango más amplio de información, lo que deja lugar para la invención cultural de nuevos estímulos.

El reconocimiento de rostros es un buen ejemplo concreto. En todos los humanos, surge de forma temprana en la infancia una competencia visual para los rostros, que está asociada con un área visual especializada que algunos han llamado el “módulo de los rostros” (Kanwisher, McDermott y Chun, 1997). La “especificidad de ámbito” de este módulo, o la información que le hace procesar su función biológica, supuestamente sólo está conformada por rostros humanos. El módulo evolucionó para este conjunto de estímulos porque su dominio nos dio una línea evolutiva. Pero nuestro dispositivo de reconocimiento de rostros también se dispara para objetos que no son un genuino rostro humano, como en la visión de una estatua o una fotografía, o de la cara de Cristo en manchones de nieve derretida, o de la cara humana gigante que los astrónomos ven en Marte (que en realidad es la sombra de una montaña). Incluso disposiciones mínimas de caras, como los *smileys* de Internet y otros “emoticones” (☺) pueden estimularla. En el contexto de Sperber, todos estos estímulos, naturales o artificiales, pertenecen al “dominio real”, o el estímulo mínimo que satisface las condiciones hipotéticas de la información que el módulo de las caras puede procesar.

Según Sperber, precisamente la discrepancia entre el ámbito real y el ámbito específico de nuestros módulos mentales da lugar a la inventiva humana, y de eso sacan provecho las culturas humanas. Las personas inventan una variedad de objetos culturales para atraer la atención de sus pares humanos. Su único propósito es excitar los módulos cerebrales de la forma más inesperada y atractiva. La propensión universal de las culturas humanas a crear retratos, estatuas, caricaturas, máscaras, maquillaje y tatuajes probablemente sea producto de algún tipo de juego cultural que se activa dentro de los límites de nuestro módulo de reco-

nocimiento de rostros. Estos artefactos culturales no siempre imitan el rostro humano: exageran sus rasgos para crear lo que los etnólogos llaman un “súper estímulo”, o una disposición que activa el módulo de las caras con más fuerza que una cara real. Una vez que se lo optimiza hasta convertirlo en un súper estímulo, un dispositivo cultural aumenta su eficiencia reproductiva y se puede propagar por todo un grupo humano como una epidemia mental.

El reciclaje neuronal y los módulos cerebrales

Un parentesco obvio, e incluso cierta complementariedad, une los conceptos de ámbitos específicos y ámbitos reales de Dan Sperber con mi hipótesis del reciclaje neuronal. Una y otra perspectivas hacen énfasis en la forma en que encuentra su lugar en nuestra arquitectura cerebral un objeto cultural que para la evolución era imposible de anticipar. Sólo puede hacerlo porque pertenece a nuestro inventario de las formas mentales que podemos aprender, incluidas en las condiciones normales de funcionamiento de nuestros circuitos corticales.

Mi única reserva frente a la postura de Sperber es que tiende a subestimar el rol del aprendizaje y de la plasticidad cerebral en los orígenes de los universales culturales. Si bien describe todos los módulos como “instintos de aprendizaje”, máquinas para adquirir nuevo conocimiento más que dispositivos rígidamente establecidos, destaca que son los únicos capaces de aprender dentro de una esfera relativamente limitada. De hecho, su inflexibilidad tiene un papel esencial en su argumentación de que una lista dada de módulos innatos da cuenta de los rasgos universales de las culturas humanas: hipotéticamente, todos los hombres y las mujeres poseen el mismo conjunto fijo de módulos definidos por la evolución humana.

La forma de ver la cultura que emerge de la teoría de Sperber puede parecer reduccionista. Si seguimos esta línea de pensamiento, cada cultura humana es simplemente un maletín de ingeniosos trucos para estimular módulos cerebrales preestablecidos. La lectura sugiere que la invención cultural va mucho más allá de esta descripción. No surgió simplemente gracias a la estimulación de nuestro sistema visual. La escritura creó las condiciones para una verdadera “revolución cultural”, y extendió de forma radical nuestras habilidades cognitivas. La exposición del cerebro del niño a la lectura a la edad de mayor plasticidad crea una gran reorientación de la cognición humana que va

tanto más allá de un mero cambio de orientación de los *inputs* de un solo módulo.

Me veo en la obligación de agregar que el concepto de “módulo” no me agrada mucho. El término encierra las funciones cognitivas en celdas fijas que supuestamente recubren la superficie de nuestros cerebros. La realidad cortical es tanto más variable, redundante y plástica. Jean-Pierre Changeux ponía el acento sobre el *boom* de sinapsis que ocurre en los primeros años de vida y genera la diversidad y la redundancia en la corteza del niño. Aunque los circuitos cerebrales ya están organizados cuando un niño nace, no parecen estar asignados con rigidez a un único dominio, sino que simplemente pueden tener una tendencia para facilitar su adquisición. Gracias a sus exuberantes conexiones, los circuitos cerebrales que evolucionaron bajo la presión selectiva de cierta restricción cognitiva pueden adaptarse para ocuparse de funciones muy diferentes.

Este mecanismo de reciclaje neuronal enriquece de forma significativa el alcance de la hipótesis modular de Sperber. Los contornos de nuestros procesadores cerebrales, lejos de ser rígidos, contienen cierta cuota de plasticidad. Su función puede cambiar, especialmente en culturas que plantean una educación intensiva y exponen los cerebros de los niños a objetos culturales a una edad muy temprana. La plasticidad permite que haya una diversidad cultural que va más allá de una lista fija de módulos. Los inventos revolucionarios, como Internet o el *mouse* de la computadora, además, demuestran que probablemente estemos lejos de haber descubierto todo el potencial de nuestra caja de herramientas cerebral.

Por último, tenemos que reconocer que la velocidad y la facilidad con que surgen las creaciones culturales son muy variables, probablemente en función de las cantidades de reciclaje cortical que son necesarias para dominarlos. Todos los objetos del pensamiento encajan, por definición, en el conjunto de representaciones que pueden aprenderse, y que nuestros circuitos cerebrales pueden alojar. Sin embargo, algunos tal vez requieran cambios más complejos que otros. Mientras los rostros, los tatuajes y las máscaras abundan en las culturas del mundo entero, la lectura, la matemática y la música son inventos recientes de complejidad despereja y alcance variable. La enseñanza intensiva y temprana que hace falta para aprenderlos es señal de hasta qué punto imponen la reorganización sináptica en nuestros circuitos cerebrales existentes. Estos objetos culturales no son todos igualmente accesibles: nuestros cerebros pueden tener que superar cierta cantidad de instancias intermedias

en la escala cultural antes de que se vuelvan accesibles algunos nichos corticales.

Hacia una lista de las invariantes culturales

Algunos ambiciosos programas de investigación contemporáneos han comenzado a indagar los rasgos más destacados de la cultura humana, como la música, la religión, el arte, la matemática y la ciencia. Buscan identificar los circuitos cerebrales que están asociados con estas creaciones y examinar sus presuntos precursores filogenéticos y epigenéticos. Una visión general revela varios dominios en los que se encuentran en camino avances significativos.

Ciencias naturales

Todas las culturas están interesadas en la clasificación de las plantas y animales (Atran, 1990; Berlin, 1992). Scott Atran y Dan Sperber relacionan esta preocupación por la taxonomía con un hipotético módulo de "biología popular" especializado en la adquisición de conocimiento sobre los seres vivos. La posesión de un módulo de este tipo podría tener un papel clave en la supervivencia de la especie, ya que afectaría sus patrones de alimentación, de salud, y de integración general con el ambiente. La psicología del desarrollo, las imágenes cerebrales y la neuropsicología en efecto han comenzado a revelar la especialización cerebral para el conocimiento de las plantas y animales, que emerge de manera precoz en los niños pequeños y que algunas lesiones cerebrales afectan (Caramazza y Shelton, 1998; Chao, Haxby y Martin, 1999; Pouratian y otros, 2003).

Matemática

Mi propio laboratorio, junto con varios otros, ha estudiado cómo se fijan los objetos matemáticos simples en nuestro cerebro (Dehaene, 1997; Butterworth, 1999). Todas las culturas comparten un conjunto mínimo de conceptos matemáticos abstractos, presentes tanto en la aritmética como en la geometría. Estos conceptos aparecen en la niñez temprana, incluso cuando no existe educación formal. El ejemplo principal es el concepto de número. Incluso un niño amazónico sin educación, cuya lengua no tiene palabras para los números más allá del cinco, comprende la diferencia entre conjuntos de veinte puntos frente a conjuntos de cuarenta, puede ordenarlos, e incluso combinarlos en sumas y restas aproximadas (Pica, Lemer, Izard y Dehaene, 2004; Dehaene, Izard, Pica

y Spelke, 2006). Esta habilidad central para la aritmética básica está relacionada con los lóbulos parietales de ambos hemisferios, donde se puede encontrar una región sensible a la cantidad de objetos en cualquier bebé, niño o adulto humano (Dehaene, Piazza, Pinel y Cohen, 2003; Cantlon, Brannon, Carter y Pelphrey, 2006). Actualmente sabemos, además, que incluso el cerebro del mono macaco contiene neuronas que están destinadas a un número específico de objetos, en una localización cerebral que parece ser un homólogo claro de la región parietal humana que está activa durante la aritmética mental (Nieder y Miller, 2004). Es divertido pensar que la teoría de los números, a la cual suele señalarse como el pináculo de la matemática “pura”, en realidad tiene raíces en una habilidad animal para seguir los elementos que pueden ser alimento u otros animales, dos funciones con un valor obvio para la supervivencia animal.

La investigación de los números y su relación con el cerebro ejemplifica cómo la matemática depende de habilidades universales de la mente humana. Sus cimientos reposan en las representaciones mentales estructuradas del espacio, el tiempo y el número, que heredamos de nuestro pasado evolutivo y que aprendemos a recombinar de nuevas formas con la ayuda de los símbolos escritos y hablados.

Artes

Todas las culturas producen obras de “arte”, costosas creaciones decorativas, cuya utilidad práctica está lejos de ser obvia. En sus libros y su curso sobre la “neuroestética” en el Collège de France (2003-2005), Jean-Pierre Changeux (1994) propuso que existe una valoración neurobiológica de las formas del arte, particularmente de la pintura y de la música. Como “síntesis de múltiples evoluciones”, nuestro cerebro alberga una amplia selección de representaciones mentales que pueden explicar las complejas reacciones emocionales que provoca una obra de arte. En términos neuronales, una pintura se separa en varias partes que se transmiten a numerosas áreas cerebrales. Cada una de estas regiones procesa uno de los atributos de la obra de arte: el color, la textura, las caras, las manos, la expresión emocional. Una obra de arte se vuelve una obra maestra cuando estimula múltiples procesadores cerebrales distribuidos de una forma nueva, simultánea y armoniosa.

El neurólogo estadounidense Vilayanur Ramachandran propuso ideas similares a estas. Sostiene que “el propósito del arte [...] no es meramente pintar o representar la realidad [...] sino acentuar, trascender, o incluso *distorsionar*[la], [...] para amplificarla con el objetivo de activar

con mayor fuerza los mismos mecanismos neurales que el objeto original activaría” (Ramachandran, 2005). Para el neurofisiólogo británico Semir Zeki, “los artistas, de alguna manera, son neurólogos que estudian el cerebro con técnicas que son propias sólo de ellos” (Zeki, 2000). Zeki especula que las formas del arte se pueden relacionar con circuitos cerebrales parcialmente distintos: el fauvismo estimula el área cerebral de los colores, el arte kinético fuerza los límites de nuestra área motora, y así sucesivamente... Es más, el trabajo de artistas talentosos esconde un vasto número de interpretaciones que renuevan constantemente el placer de quien lo mira.

Changeux va un paso más allá. Considera que la mera estimulación de varios sistemas cerebrales no es suficiente para crear una forma de arte genuina. Las obras de arte más admiradas no son solamente “superestímulos” que fascinan a quienes las miran utilizando un movimiento hipnótico o colores impactantes, ¡aunque esta descripción sí parece aplicarse a algunas tendencias de arte contemporáneas! Por encima de todo, una obra maestra debería rebosar de armonía. Las bases neuronales para la sensación de coherencia entre las partes individuales y el todo mayor, los *consensus partium* que Changeux pone en el centro de la creación artística, se están comenzando a estudiar para la música (Wallin, Merker y Brown, 2000). Aquí, el concepto de armonía en los acordes musicales tiene una definición estrictamente física. Una sensibilidad básica para los intervalos musicales de octavas y quintas es un universal cultural que ya está presente en los niños. Este rasgo parece surgir en el nivel del área auditiva primaria, donde los acordes consonantes evocan actividad neuronal coherente y sincrónica, mientras que los tonos disonantes evocan ritmos altamente perturbados y palpitantes. La armonía en la pintura o en la escultura ¿puede explicarse de una forma similar, mediante algún tipo de sincronía de fases en las múltiples áreas cerebrales distribuidas que estimula una obra maestra? Hasta el momento, no tenemos respuestas definitivas a esta pregunta. La neuroestética todavía es un área incipiente y controversial de la neurociencia.

Religión

Una pregunta todavía más controversial es si la neurociencia puede arrojar luz sobre la propensión humana universal a la religión. ¿El pensamiento religioso puede rastrearse hasta sus presuntas raíces evolutivas y neurobiológicas? Tres libros recientes (Atran, 2002; Boyer, 2002; Dennett, 2006) plantean explicaciones cognitivas e incluso “neuroteológicas” para la universalidad de la religión y su estabilidad milenaria.

Daniel Dennett reseña con detalle la original explicación “memética” de Richard Dawkins. Nuestra capacidad para la transmisión cultural gracias a la lengua y la imitación, argumenta, lleva necesariamente a la aparición de representaciones mentales parasitarias, memes. Estos objetos mentales no necesariamente deben ser beneficiosos para quienes los albergan; el único requisito es que operen como “replicadores” eficientes que faciliten la transmisión de una mente a otra. Las religiones no son otra cosa que agrupamientos “autorreproductivos” de representaciones mentales con una característica particular: su mero contenido plantea a los fieles que sería sacrilego no adherir a ellas ciegamente y difundirlas con lealtad y diligencia.

Pascal Boyer hace una indagación más profunda acerca de las bases cognitivas que explican la facilidad con que se propagan las ideas religiosas. Como Sperber, da por sentado que estas “epidemias mentales” encuentran un eco en los módulos mentales preexistentes de nuestro cerebro. La religión es un tipo de parásito que se enanca en los módulos cognitivos que están destinados a la inteligencia social, el sentido moral y la inferencia causal: los que nos hacen inferir un agente causal cuando vemos que los objetos se mueven hacia un objetivo. En esencia, dice Boyer, estamos preparados para descubrir un diseño, una intención y una moralidad todopoderosos en nuestro ambiente.

Por último, Scott Atran prioriza explicar la propensión humana a lo sobrenatural. Desde su punto de vista, las criaturas sobrenaturales, como los ancestros invisibles, los árboles que piensan, los muertos vivos, los objetos malignos o los bosques encantados presentan una combinación única que los vuelve extremadamente atractivos. Por un lado, encajan perfectamente en las categorías mentales innatas con que interpretamos el mundo natural (lugares, objetos, animales, seres humanos), pero por otro lado violan algunas de las reglas básicas de las categorías. La atracción magnética ejercida por esta discrepancia explica por qué nos parecen tan atractivos estos conceptos puramente imaginarios. Son súper estímulos altamente eficientes para los cerebros tanto de niños como de adultos. Como Jano, el dios romano de dos caras, una faceta les permite penetrar en nuestros módulos mentales, mientras que la otra estimula nuestra atención y nuestra memoria. De manera muy similar a como el arte cinético nos fascina al estimular el área motora del cerebro, los pensamientos sobrenaturales son señuelos hipnóticos para las áreas del cerebro que codifican lugares, objetos, animales y seres humanos.

Todas estas explicaciones evolucionistas suenan veraces, pero también parecen insuficientes para dar cuenta de la complejidad de los

fenómenos sociales y culturales que pretenden explicar. No puedo hacer otra cosa que elogiar sus intentos por relacionar los misterios del arte y la religión con fenómenos cognitivos estándares que, en última instancia, pueden estudiarse si se utilizan herramientas psicológicas e imágenes cerebrales. Sin embargo, siempre me recuerdan los cuentos de Rudyard Kipling que relatan la forma en que el camello obtuvo su joroba o el leopardo sus manchas. Las teorías del arte y la religión, al igual que las historias de Kipling, toman como base mecanismos especulativos que hoy en día están muy apartados de la experimentación objetiva. En contraste, tal vez el aspecto más interesante de la lectura es que se presta sin inconveniente a la disección rigurosa de sus mecanismos neuronales subyacentes. Aunque es una invención de alto nivel y específicamente humana, en última instancia se relaciona con circuitos cerebrales bien identificados y reproducibles. Espero con ansias los avances experimentales futuros que finalmente llevarán la neuroestética y la neuroteología hasta el mismo nivel de rigor científico.

¿Por qué somos la única especie cultural?

La hipótesis de que cada rasgo importante de las culturas humanas se relaciona con módulos cerebrales dados (o con procesadores que fueron heredados de nuestro pasado en la evolución) suscita una objeción importante. Ya que compartimos con otros primates la mayoría de estos procesadores, si no su totalidad, ¿por qué somos la única especie que ha generado culturas inmensas y bien desarrolladas?

A pesar de los recientes debates acerca de la extensión de las culturas humanas, el *Homo sapiens* es una especie realmente singular en la esfera cultural. Décadas de paciente observación etológica sólo han revelado una lista de treinta y nueve verdaderos rasgos “culturales” en nuestros primos más cercanos, los chimpancés. La cultura se define como un comportamiento que varía entre grupos de animales de las mismas especies, se transmite entre generaciones, y no es sólo una simple consecuencia de las variaciones en el ambiente local (Whiten y otros, 1999; Byrne y otros, 2004). Quienes apoyan las culturas de chimpancés pregonan de manera triunfal como rasgos “culturales” el hecho de que los chimpancés de Mahale, Tanzania, se hurguen la nariz con un palo o que los aplausos se utilicen en cuatro de cada siete sitios africanos para atraer la atención de otro chimpancé. No niego la importancia de estas observaciones: sirven para acotar la singularidad de la especie humana

e intentar relacionarla con los mecanismos clásicos de imitación inconsciente y transmisión social. Sin embargo, la escasez de culturas animales y la pobreza de sus contenidos contrastan netamente con la inmensa lista de tradiciones culturales que incluso el más pequeño de los grupos humanos desarrolla de manera espontánea.

El caso de las artes gráficas es particularmente edificante. Casi no hay sociedades humanas que no practiquen algún tipo de dibujo o grabado, ya sea sobre alguna roca, barro o el cuerpo humano. Nuestros ancestros del período paleolítico superior ya dominaban llamativamente bien estas formas de arte, como prueban, por ejemplo, las pinturas rupestres de la cueva de Chauvet (hace 32 000 años). En muchas culturas, incluidas las de los inuits y los indios, los dibujos muy pronto tomaron un significado simbólico, en especial para denotar el número. La escritura propiamente dicha surgió hace tres mil años en por lo menos cuatro lugares distintos (Sumeria, Egipto, China y Mesoamérica). En contraste, ninguna especie de mono o gran simio creó nunca siquiera un sistema de símbolos genuino.

La sorprendente falta de invención gráfica en los primates no humanos no se debe a ninguna trivial limitación visual o motora. Cuando se le entrega una tableta para que dibuje, un chimpancé de un año logra producir puntos, líneas y curvas (Boysen, Berntson y Prentice, 1987; Tanaka, Tomonaga y Matsuzawa, 2003). De acuerdo con el especialista de simios Tetsuro Matsuzawa, los chimpancés “parecen poseer una motivación intrínseca para dibujar”. Cuando se programa la tableta para que no deje rastros en una pantalla, dejan de usarla, lo que sugiere que los “trazos visibles tienen algún tipo de valor reforzador para los sujetos”. ¿Por qué, entonces, cuando se les entregan kits de dibujo o pintura, los chimpancés nunca crean más que unos pocos manchones azarosos de color, que parecen estar vacíos de cualquier meta comunicativa o referencial (véase la figura 8.1)? Si la invención cultural nace del reciclaje de los mecanismos cerebrales que los humanos comparten con otros primates, la inmensa discrepancia entre las habilidades culturales de los seres humanos y los chimpancés necesita ser explicada.

¿Una plasticidad exclusivamente humana?

Se han propuesto varias soluciones para este enigma. Una de ellas enfatiza que el cerebro humano está dotado de una plasticidad mayor que el de nuestros primos, los chimpancés. Es innegable que uno de los rasgos



Figura 8.1. En los primates no humanos, la producción gráfica es mínima. Un chimpancé de trece meses aprendió a controlar una tableta gráfica y a trazar curvas elementales, pero nunca desarrolló ninguna habilidad para comunicar ideas a través de dibujos (a la izquierda, tomado de Tanaka, Tomonaga y Matsuzawa, 2003). La “composición” que se encuentra a la derecha fue producida por un chimpancé adulto que estaba viviendo de manera semiindependiente en la reserva forestal de Melou en Camerún al que se le proveyeron acuarelas y un lienzo (© Canadian Ape Alliance). *Utilizado con permiso de Animal Cognition.*

más importantes del *Homo sapiens*, que nos separa del resto de los primates e incluso de nuestro ancestro, el *Homo erectus*, es que nacimos con un cerebro inmaduro y altamente plástico (Coqueugniot y otros, 2004). Si se nos compara con otros primates, el nacimiento de la cría humana se produce cuando su desarrollo cerebral todavía está lejos de estar completo. La corteza todavía es neurológicamente inmadura y su maduración sináptica continuará durante varios años.

Si bien la plasticidad prolongada probablemente contribuye a la capacidad de nuestra especie para adaptarse a una amplia variedad de condiciones ambientales, dudo que tenga un rol dominante en nuestra tendencia a la invención cultural. El aprendizaje no parece ser un factor limitante que impida que los chimpancés desarrollen artefactos culturales. Un gran número de experimentos demuestra que el cerebro de los

primates es bastante capaz para el aprendizaje abstracto e incluso para la conversión radical a nuevas actividades. Hasta los monos macacos, según demuestran Nikos Logothetis y Yasuki Miyashita, aprenden a reconocer las formas arbitrarias de las curvas y los fractales que nunca encuentran en su ambiente natural. Este tipo de entrenamiento, como vimos en el capítulo 3, cambia de manera radical la forma en que están ajustadas varias neuronas de la corteza visual del macaco, que se vuelven selectivas para estas nuevas formas (Logothetis, Pauls y Poggio, 1995).

Otros investigadores experimentales incluso les enseñaron a los chimpancés y a los monos macacos a reconocer las formas de los números arábigos, ordenarlos rápidamente y asociarlos con sus cantidades correspondientes (Matsuzawa, 1985; Washburn y Rumbaugh, 1991; Kawai y Matsuzawa, 2000).

Los monos también pueden aprender a manipular herramientas. Atsushi Iriki y sus colegas de la Universidad de Tokio no tuvieron dificultades para enseñarles a los monos a usar un rastrillo largo y alcanzar objetos. Los monos se volvieron tan buenos en esta tarea que lograban atrapar objetos escondidos con la ayuda de un video en una pantalla de computadora (Iriki, 2005). El aprendizaje con herramientas llevó a severos cambios en una pequeña región de la corteza parietal anterior: los campos receptivos neuronales se expandieron, se expresaron factores neurotrópicos, y aumentaron las conexiones con las áreas corticales posteriores distantes. Las similitudes con el cerebro humano sugieren que esta región puede bien ser una antecesora de las redes humanas para los gestos manuales aprendidos, incluyendo la escritura.

En resumen, los rudimentos de una habilidad para el aprendizaje simbólico, similar a la humana, están obviamente presentes en otras especies de primates, aunque estos nunca inventaron símbolos culturales por sí solo. Dado que el cerebro del mono puede adquirir símbolos y herramientas, la plasticidad cerebral reducida no puede ser responsable de la falta de innovación cultural en los primates no humanos. Lo que falta no es una capacidad para aprender, sino más bien una habilidad para inventar y transmitir objetos culturales.

Cuando la mente lee otras mentes

Se ha propuesto que el cerebro humano está “preadaptado” específicamente para la transmisión cultural. Michael Tomasello defiende explícitamente esta posición:

Los seres humanos están adaptados biológicamente para la cultura de una manera en que otros primates no lo están. La diferencia es muy notoria cuando se comparan de manera sistemática las habilidades de aprendizaje social de los humanos y sus parientes primates más cercanos. La adaptación humana para la cultura empieza a manifestarse en su ontogenia a la edad de un año, aproximadamente, cuando los bebés llegan a comprender a las otras personas como agentes intencionales como ellos y a involucrarse, entonces, en interacciones atencionales compartidas. Esta comprensión, entonces, les permite a los niños pequeños emplear algunas formas singularmente poderosas de aprendizaje cultural para adquirir la sabiduría acumulada de sus culturas (Tomasello, 2000b: 37; véanse también Tomasello, 2000a; Tomasello y otros, 2005).

Según Tomasello, la singularidad de nuestra especie se basa en una capacidad única para la transmisión cultural, debido a la expansión reciente de un módulo cerebral para la “teoría de la mente”, la representación mental de las intenciones y creencias de los otros. Este sistema cerebral impacta en la propagación cultural, por lo menos, de tres maneras distintas. En primer lugar, les permite a los adultos representar la extensión y los límites del conocimiento de sus hijos, lo que los motiva a enseñarles e incluso a diseñar estrategias pedagógicas. En segundo lugar, la “teoría de la mente” ayuda a los niños a comprender las intenciones comunicativas y pedagógicas de los adultos: no se contentan con imitar servilmente a los adultos, sino que lo hacen con una comprensión minuciosa de sus metas (Gergely, Bekkering y Király, 2002). Por último, la teoría de la mente provee a cada miembro de la especie humana la habilidad de representarse, de prestar atención a sus propios estados mentales, y de manipularlos según su deseo a través del diseño de nuevas invenciones culturales.

Docenas de experimentos muestran que los niños muy pequeños ya son notablemente sensibles a las intenciones comunicativas de los otros. Esta forma de compartir intenciones tiene un papel clave en la adquisición del lenguaje (Tomasello, Strosberg y Akhtar, 1996). Al contrario de la idea generalizada, los niños no aprenden las palabras por la asociación repetida con los objetos que les corresponden. Cuando oyen una nueva palabra, siguen la mirada del hablante para descubrir a qué se está refiriendo. Sólo cuando han comprendido lo que el hablante tiene en mente —y han tomado en cuenta una variedad de indicios acerca de su conocimiento y su capacidad— asignan un significado a la pala-

bra hablada. No existe aprendizaje que ocurra en situaciones en que no esté de por medio la mente del otro, como sería el caso de un hablante que meramente repitiera una palabra en relación fija con un objeto. La transmisión cultural requiere que nos importen las mentes de los otros.

De acuerdo con Tomasello, la sensibilidad singularmente humana a los estados mentales de los otros no es el resultado de una mutación repentina. Una representación primitiva de las intenciones, las creencias y los objetivos ya está presente en el linaje de todos los grandes simios. Sin embargo, está amplificadas en la especie humana, y está acompañada por una motivación peculiar para compartir emociones y actividades con otros seres humanos. Para Tomasello, ninguna de estas competencias humanas, en términos estrictos, nos predetermina para desarrollar una cultura. Sin embargo, en algún punto se alcanza una masa crítica de dispositivos que estimulan su desarrollo. Surge entonces un “efecto de engranaje cultural”, en el que cada nueva invención, a su vez, facilita la transmisión de otras al grupo social. La imitación inteligente y la pedagogía activa en última instancia estabilizan las representaciones culturales a lo largo de varias generaciones.

Aunque la hipótesis de Tomasello es interesante, sólo da cuenta parcialmente de la extraordinaria expansión de la esfera cultural humana. Explica la expansión casi epidémica de la cultura de un único centro de innovación a un gran grupo de seres humanos, y da cuenta del carácter estable o incluso irreversible de nuestros rasgos culturales más dominantes (el fuego, la agricultura, la cría de animales, las ciudades, la escritura, el sistema legal...). Dice poco, sin embargo, de la chispa inicial que desencadena la invención cultural. No cabe duda de que la especie humana es particularmente talentosa para difundir la cultura, pero también es la única especie que, en primer lugar, *crea* la cultura. El *Homo sapiens* tiene una imaginación sin paralelo en el mundo animal, lo que se hace obvio cuando uno observa a un niño pequeño cuando está jugando. En lo que respecta a la creatividad cultural en sí misma, la hipótesis de la transmisión social de Tomasello guarda silencio.

Un espacio de trabajo neuronal global

Mi propia manera de ver la singularidad de la cultura humana es que, más allá del desarrollo de una “teoría de la mente”, fue necesario otro cambio singular: la capacidad para llegar a nuevas combinaciones de ideas y a la elaboración de una síntesis mental consciente.

Cuando uno compara la anatomía cerebral de los humanos actuales con la de otros primates, homínidos tempranos, o incluso el hombre de Neanderthal, un rasgo saliente de nuestra especie es la expansión desproporcionada de nuestro lóbulo frontal. La corteza prefrontal, que se encuentra en la parte anterior de los hemisferios cerebrales, es un factor clave en las vastas redes de áreas asociativas que también incluyen las regiones parietal inferior y temporal anterior. Estas regiones son hasta cuarenta veces más grandes en los humanos que en los macacos (Van Essen y otros, 2001).

Tal vez la transformación más notable que ha tenido lugar en el cerebro humano es la expansión de los tractos de fibra que subyacen al lóbulo temporal; en los humanos son más grandes que en cualquier otra especie de primates, incluso luego de la corrección debida a cambio general en el volumen del cerebro o del cuerpo (Van Essen y otros, 2001; Schoenemann, Sheehan y Glotzer, 2005). Algunas conexiones de larga distancia, como las que vinculan la corteza prefrontal inferior con el polo occipital, pueden existir sólo en los humanos (figura 8.2). Las neuronas prefrontales humanas muestran una clara adaptación a este aumento masivo de la conectividad: sus árboles dendríticos, que reciben la información que llega, son más tupidos, y los contactos sinápticos son mucho más numerosos que los de otros primates (Elston, Benavides-Piccione y DeFelipe, 2001). Una categoría de neurona, la célula fusiforme gigante, parece sólo existir en los *Homo sapiens* y en los otros grandes simios (Nimchinsky y otros, 1999). Estas neuronas están localizadas en una parte del lóbulo frontal, la corteza cingulada anterior, y envían axones extremadamente largos a otras regiones distantes de la corteza.

Detrás de este aumento masivo de conectividad, debe encontrarse una nueva funcionalidad. Jean-Pierre Changeux y yo proponemos que sirve para transmitir la información que llega de varias áreas cerebrales y para ensamblarla en un área de trabajo cortical común. Una vez que se alcanza la síntesis mental, las conexiones divergentes también pueden difundir la información al cerebro entero.

La mayor parte de la corteza de los primates es, en general, modular: está subdividida en territorios especializados, cada uno de los cuales tiene su información de entrada específica, su estructura interna y su información de salida. La corteza prefrontal y otras áreas asociativas, sin embargo, son diferentes: emiten y reciben señales corticales tanto más diversas, y por eso tienden a estar menos especializadas. Sus conexiones transversales quiebran la modularidad del cerebro y expanden masivamente el ancho de banda de transmisión de la corteza. Es poco

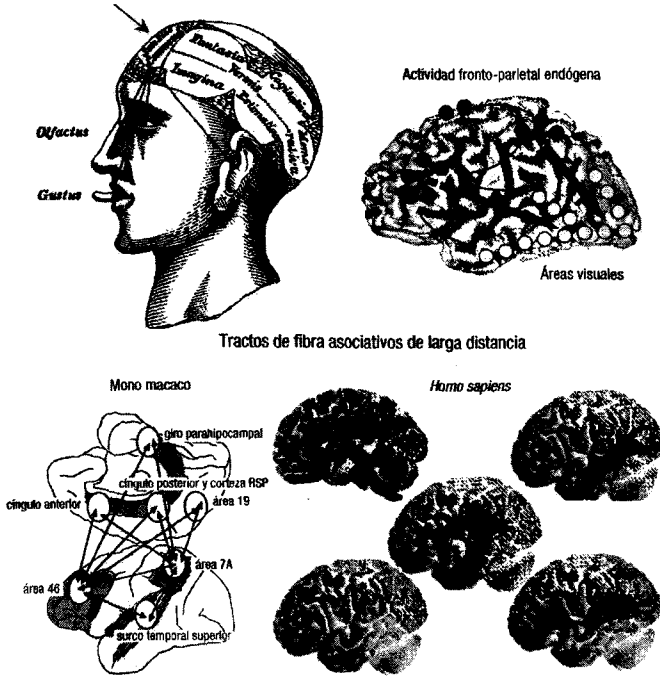


Figura 8.2. La lectura es sólo un ejemplo de la extraordinaria inventiva de la especie humana. ¿Por qué sólo el *Homo sapiens* recicla sus redes corticales para nuevos usos culturales? La noción aristotélica de un "sentido común", un centro cerebral donde la fusión de los cinco sentidos sea la base de la invención y la imaginación, encuentra eco en el descubrimiento moderno de vastos tractos de fibra de larga distancia, particularmente desarrollados en los humanos, que reúnen y recombinan con flexibilidad la información que llega de varias áreas cerebrales. Estas redes son el asiento de la actividad espontánea constante. Jean-Pierre Changeux y yo postulamos que esta actividad de arriba-abajo, cuando se encuentra con estímulos sensoriales de abajo-arriba, provee acceso consciente al mundo exterior y sustenta una capacidad mejorada para la exploración y la invención mental. *Utilizado con el permiso de Annual Review of Neuroscience y Oxford University Press.*

sorprendente descubrir que este sistema alcanza su expansión máxima en el cerebro humano. Mi propuesta es que esta evolución tiene como resultado un “área de trabajo neuronal” a gran escala, cuya función principal es ensamblar, confrontar, recombinar y sintetizar conocimiento. Contribuye a evitar la división de datos y permite que nuestro comportamiento esté guiado por cualquier combinación de información de la experiencia pasada o presente. Nuestra corteza prefrontal, gracias a sus conexiones con todas las áreas de alto nivel, provee un espacio para la deliberación interna que se alimenta de un conjunto de percepciones y registros en la memoria. En pocas palabras, lo que llamamos “pensamiento consciente” puede simplemente ser la manipulación de información dentro de esta área de trabajo neuronal global.

Mi intento de trazar una conexión entre el lóbulo frontal y las facultades mentales más altas no es para nada nuevo. A lo largo de los últimos treinta años, psicólogos como Patricia Goldman-Rakic y Joaquim Fuster, al igual que neuropsicólogos como Alexander Luria, François Lhermitte y Tim Shallice, propusieron una conexión. Todos estos científicos se dieron cuenta de que, a pesar de que el daño al lóbulo frontal suele dejar intactos los comportamientos elementales y automatizados, lleva a dificultades en la organización de la reflexión consciente y la planificación de acciones complejas dirigidas a metas. Ya al principio del siglo XX, los experimentos pioneros de lesiones realizados por el neurólogo italiano Leonardo Bianchi lo llevaron a denominar “órgano de la síntesis mental” al lóbulo frontal. Él señalaba que la conectividad del lóbulo frontal, que es de peculiar exuberancia en los humanos, era la base de una confrontación de las modalidades auditiva y visual y una conexión rápida con los sistemas de comprensión y producción del habla (Bianchi, 1921).

Si se mira todavía más atrás en el tiempo, les debemos a Aristóteles y a Galeno la idea de que nuestra mente incluye un *sensus communis* o un “sentido común”, un fuero íntimo de conciencia en que unimos la información que llega de los órganos sensoriales en una representación coherente e inteligible. Avicena, en el siglo X, ya asociaba esta capacidad con el frente del cerebro, aunque señalaba las cavidades cerebrales (los ventrículos) más que el manto cortical en sí mismo:

Una de las facultades internas de percepción de los animales es la facultad de la fantasía, vale decir, *sensus communis*, situada en la parte delantera del ventrículo frontal del cerebro. Recibe todas las formas que están impresas en los cinco sentidos y transmite hacia él desde

ellas. Lo siguiente es la facultad de representación localizada en la parte trasera del ventrículo frontal del cerebro, que preserva lo que el *sensus communis* ha recibido de los cinco sentidos individuales incluso en la ausencia del objeto percibido... Lo siguiente es la facultad de la "imaginación sensible", en relación con el alma animal, y la "imaginación racional", en relación con el alma humana. Esta facultad está situada en el ventrículo medio del cerebro (cit. en Finger, 1994: 19).

En este pasaje, Avicena le otorga al lóbulo frontal tres capacidades que él cree que existen en los animales, pero que están muy expandidas en los seres humanos: *síntesis* de los cinco sentidos; *memoria*, que sostiene esta síntesis en la mente incluso luego de que el objeto se ha desvanecido; e *imaginación*, que enriquece la percepción y, junto con la razón, puede concebir nuevas formas de alcanzar un objetivo. Como una intrigante premonición, estas ideas anticiparon tres grandes descubrimientos de la neurociencia moderna acerca del funcionamiento del lóbulo frontal:

- Las neuronas prefrontales son masivamente multimodales. Los experimentos demuestran que esas células son capaces de reunir toda la información relevante para una meta actual, ya sea que provenga del oído, la vista o el tacto. Prácticamente no hay ninguna información que ingrese al cerebro que no llegue hasta la corteza prefrontal.
- Las neuronas prefrontales muestran una capacidad sorprendente para permanecer activas incluso después de que el objeto percibido ha desaparecido. Su descarga puede seguir siendo intensa durante varias docenas de segundos, y mantener la memoria de trabajo de un episodio pasado durante el tiempo por el que la información sea necesaria.
- Las regiones prefrontales participan en una red a escala cerebral cuya actividad fluctúa constantemente, incluso en ausencia de cualquier información de entrada sensorial. Es tentador asociar esta oscilación al flujo espontáneo de la conciencia y la imaginación (Dehaene y Changeux, 2005). Cuando se le realiza un estudio de imágenes cerebrales a un voluntario en reposo, y no se le pide que desarrolle ninguna tarea en particular, el cerebro no está inactivo, sino que pasa por una serie impredecible de estados coordinados (Raichle y otros, 2001; Laufs y otros, 2003; Fox y otros, 2006). De un momento a otro, la activación aparece en sectores distintos de la corteza frontal, cada uno conectado con territorios particulares de los distantes lóbulos parietal, temporal u occipital. La activación endógena de estas

redes marca el estado de descanso consciente en los humanos: sólo desaparece en el sueño profundo, la anestesia o el coma (Laureys, 2005).

En resumen, una red bien desarrollada de conexiones densas de larga distancia está presente en el cerebro humano. Forman un espacio de trabajo global que permite la confrontación, síntesis y distribución de información que llega de otros procesadores cerebrales. Este sistema también está dotado de cierta fluctuación espontánea que permite que se prueben nuevas ideas. Creo que la expansión reciente de esta red de espacio de trabajo global está estrechamente vinculada tanto con la aparición de la conciencia reflexiva como con la competencia humana para la invención cultural.

Ciertamente, las fluctuaciones espontáneas que ocurren en la corteza prefrontal y en otras áreas de trabajo proveen un mecanismo neuronal potencial para el proceso de reciclaje cultural que impregna este libro. Su actividad fortuita puede indicar una exploración permanente de las varias formas en que los contenidos de nuestros procesadores cerebrales pueden ensamblarse. Con esta red expandida de conexiones de arriba-abajo, nuestra especie, más que cualquier otro primate, puede seleccionar un conjunto arbitrario de ideas y jugar con ellas. En última instancia, estas ideas pueden ser utilizadas para nuevos usos imprevistos. Dentro de nuestra área de trabajo neuronal global, podemos traer a la conciencia un número infinito de pensamientos y recombinarlos a gusto. Sugiero que el secreto de la peculiar capacidad de nuestra especie para elaborar nuevos objetos culturales reside en este caldero neuronal donde todo se mezcla.

Es crucial que, aunque la actividad cerebral consciente fluctúa de manera fortuita, no circula aleatoriamente. Dentro de un cerebro, del mismo modo que en el nivel de una sociedad, los mecanismos de selección estabilizan las combinaciones de ideas que son más interesantes, más útiles o, a veces, meramente más impactantes o contagiosas. La corteza prefrontal dorsolateral está bien equipada para este tipo de selección. Es la receptora de proyecciones neuronales privilegiadas que provienen de los circuitos de evaluación y recompensa localizados en la corteza orbitofrontal y cingulada, además de de los núcleos subcorticales como la amígdala y los ganglios basales.

Mi hipótesis de una exploración de los circuitos corticales realizada por la corteza prefrontal indudablemente hace recordar la idea de Dan Sperber de que las culturas juegan con lo que hay de variabilidad en los módulos cerebrales. Sin embargo, la posibilidad de una síntesis en-

tre múltiples procesadores del cerebro, bajo la tutela de la corteza prefrontal, enriquece considerablemente el modelo de Sperber. El reciclaje cortical no consiste meramente en encontrar informaciones de entrada nuevas para un único módulo. Por sobre todas las cosas, la red de conexiones de larga distancia que culmina en el *Homo sapiens* permite la confrontación de múltiples procesadores cerebrales que, de otro modo, no lograrían comunicarse. Estoy convencido de que la innovación con frecuencia surge de ese tipo de vínculos y de metáforas de dominios cruzados (una hipótesis similar en el ámbito de la matemática consta en Núñez y Lakoff, 2000). La invención de la lectura, en especial, no consistió meramente en la creación de un conjunto de signos que estimularan de forma eficiente nuestra corteza visual. Por sobre todas las cosas, dependía de una asociación de aquellos signos con representaciones auditivas, fonológicas y léxicas de la lengua hablada. Si otros grandes simios nunca dieron con esta idea, tal vez sea porque la arquitectura de sus cerebros, a diferencia de la de los nuestros, no les permitió probar estas novedosas combinaciones.

Varios investigadores han llegado, a través de diferentes caminos, a la conclusión de que nuestra especie tiene un don para relacionar pensamientos. Otras especies son incapaces de integrar todas las fuentes de información con el mismo grado de flexibilidad. Incluso en los niños, la integración está limitada antes del desarrollo completo de la corteza prefrontal. El conocimiento espacial de los niños ha sido estudiado por mi amiga y colega Elizabeth Spelke, del Departamento de Psicología de Harvard. Su trabajo sugiere que, antes de la edad de cinco o seis años, el comportamiento de búsqueda de los niños es modular y está pobremente integrado. Los niños más pequeños pueden utilizar el color de una pared para guiar su búsqueda de un objeto escondido, y su sentido de localización para decirles de qué lado del cuarto mirar, pero sólo cerca de la edad de seis años, los niños representan un concepto combinatorio como “izquierda de la pared verde”. Otras especies, como las ratas, nunca alcanzan esta etapa de integración, incluso cuando son adultos (Cheng y Gallistel, 1986; Hermer y Spelke, 1996). Nuestra capacidad para unir dos representaciones separadas (“dónde” y “qué”) parece estar ligada al lenguaje y, por lo tanto, puede ser únicamente humana (ver, sin embargo, Gouteux, Thinus-Blanc y Vauclair, 2001, para encontrar algunos datos conflictivos).

Anette Karmiloff-Smith, del London Institute of Child Health, ha propuesto una teoría relacionada que postula que el desarrollo cognitivo de los niños consiste en ir “más allá de la modularidad” (Karmiloff-Smith, 1992). Una fracción del cerebro del niño, que incluye la corteza

prefrontal, aprende a redescibir, de una manera explícita y abstracta, el conocimiento implícito previo que está localizado en módulos especializados. La adquisición del principio alfabético provee un buen ejemplo de la redescipción interna. Cuando nacen, los niños ya poseen, aunque de manera implícita, algún conocimiento de los fonemas. Sólo luego del aprendizaje explícito del alfabeto, este conocimiento enterrado se extrae conscientemente y se vuelve conciencia fonológica plena: la habilidad de representar y manipular fonemas de manera consciente. En este ámbito, la síntesis mental, la representación consciente y la invención cultural van claramente de la mano.

Muchos otros campos de la invención humana se pueden someter a un análisis similar. En el caso de las matemáticas, mi libro anterior, *The Number Sense*, ponía el acento sobre cómo la invención matemática depende de trazar nuevas conexiones o metáforas entre dominios como el número, el espacio y el tiempo (Dehaene, 1997). En el campo de la creación artística, Jean-Pierre Changeux ve la búsqueda de una síntesis armoniosa entre los procesadores cerebrales como la esencia misma del arte. Por último, el arqueólogo Steven Mithen llega a una conclusión similar desde una perspectiva por completo diferente: el estudio de los restos de herramientas dejados por nuestros ancestros a lo largo de los últimos pocos millones de años de la evolución humana. Mithen especula que los logros de nuestra especie son resultado de una mutación que permitió que las múltiples “capillas” de la inteligencia especializada de nuestra mente se fusionaran en una única “catedral” donde los pensamientos de cualquier tipo pudieran deambular con fluidez (Mithen, 1996).

En resumen, está surgiendo un consenso alrededor de una idea sencilla: el cerebro de nuestra especie tiene un don para la recombinación mental. La evolución de un espacio de trabajo global le permite explotar de manera óptima el nicho cognitivo cultural posibilitado por el reciclaje neuronal. Sólo los seres humanos inventan formas radicalmente nuevas para usar sus procesadores cerebrales antiguos y unirlos para crear reglas innovadoras. Nuestra corteza prefrontal funciona como una primitiva “máquina de Turing”. Opera lentamente y comete errores frecuentes, pero las síntesis nuevas que genera pueden ser realmente creativas. Sus invenciones, acumuladas en la transmisión cultural sostenida durante varios miles de años, van más allá de la competencia que nuestra especie heredó a lo largo de la evolución biológica. De numerosos tesoros culturales, la lectura es, por mucho, la gema más preciosa: encarna un segundo sistema de herencia que tenemos el deber de transmitir a las generaciones que siguen.

Conclusión

El futuro de la lectura

La escritura –el arte de comunicar los pensamientos a la mente, a través de los ojos– es el gran invento del mundo. Grande en el sorprendente rango de análisis y combinación que subyace necesariamente en la concepción más cruda y general de ella: grande, muy grande ya que nos permite conversar con los muertos, los ausentes, y los que todavía no han nacido, a todas las distancias del tiempo y el espacio; y grande, no sólo en sus beneficios directos, sino de gran ayuda para el resto de los inventos.

Abraham Lincoln

La lectura es resultado de la evolución humana, así como un actor principal en su *boom* cultural. La expansión de esta “catedral” de la mente, nuestra corteza prefrontal, permitió que nuestra especie llegase a la escritura. Este invento, a su vez, aguzó nuestra mente. Su ejercicio nos dotó de memoria externa adicional que nos permite, en palabras de Francisco de Quevedo, “escuchar con [los] ojos a los muertos” y compartir los pensamientos de los pensadores pasados. En este sentido, la lectura es la primera “prótesis de la mente” (Fagot-Largeault, 2006), una prótesis que las sucesiones de escribas antiguos adaptaron para nuestro cerebro de primates.

La neurociencia de la lectura demuestra que en el cerebro de cada niño hay circuitos neuronales que pueden reciclarse para la lectura. A causa de este avance científico, todavía hay muchas esperanzas para los niños disléxicos y los adultos analfabetos. A menudo la plasticidad neuronal permite eludir la dislexia mediante el uso de rutas cerebrales alternativas. Nuestro creciente conocimiento de cómo se desarrolla la lectura en los niños pequeños, el surgimiento de *software* de lectura basado en fundamentos cognitivos sólidos y su ajuste para el cerebro de cada niño deberían traer esperanzas renovadas para todos aquellos que sienten la lectura como un calvario.

Hay algo que debería quedar en claro: yo no aseguro que la neurociencia llegue a eliminar todos los problemas de aprendizaje del lenguaje,

tampoco que las computadoras optimizadas por científicos cognitivos pronto reemplacen a los maestros de escuela. Mi mensaje es más modesto: un poco de ciencia siempre es útil. Los padres y los educadores deben tener una mejor comprensión de los cambios que produce la lectura en el cerebro de un niño. Las áreas visuales y del lenguaje de los niños constituyen una maquinaria excepcional que la educación recicla para crear un dispositivo de lectura experto. Estoy convencido de que un mayor conocimiento de estos circuitos simplificará en gran medida la tarea del docente.

Tampoco aseguro que la neurociencia debería tomar el mando de la psicología experimental y la investigación pedagógica. En los laboratorios de imágenes cerebrales como el mío, los protocolos de neuroimágenes sobre la lectura los definen los psicólogos. En el aula, los maestros están al mando. Sólo ellos son responsables de despertar el interés del niño por la lectura con ilustraciones inteligentes, ejercicios y actividades creativas. Dominar la dinámica del aula requiere una destreza pedagógica por la que siento el mayor respeto. Creo, sin embargo, que ni los educadores ni los psicólogos pueden darse el lujo de ignorar los descubrimientos científicos más recientes. La neurociencia actualmente da explicaciones indispensables sobre cómo funciona el cerebro de un lector, y sobre qué lo hace más o menos receptivo a los diferentes métodos de enseñanza.

Mi esperanza es que, a su debido tiempo, la investigación acerca de la enseñanza, la psicología y la neurociencia se fusionen en una sola ciencia unificada de la lectura. Cómo se debería enseñar la lectura es la primera pregunta que esta nueva ciencia deberá encarar. También deberán definirse los principios que les permitirán a los niños aprender a leer sin lágrimas. Podría alcanzarse un nuevo enfoque de la enseñanza de la lectura mediante la inclusión de clases experimentales y laboratorios de investigación en las escuelas. Condiciones como estas permitirían la experimentación pedagógica adecuada. Los investigadores y los maestros podrían trabajar en conjunto para diseñar futuros métodos de enseñanza. Es necesario plantear muchas nuevas preguntas: ¿la lectura debería enseñarse al mismo tiempo que el reconocimiento de las letras? ¿Es útil, incluso a edad muy temprana, que los niños escriban secuencias breves (oraciones y párrafos)? ¿Ahorrarnos tiempo si orientamos directamente la atención del niño hacia las trampas de las letras simétricas como "b" y "d"? Para estas preguntas no hay respuestas prefabricadas. Sólo la exploración colectiva y rigurosa nos permitirá llegar a soluciones constructivas y a avances pedagógicos interesantes.

Nadie puede negar, sin embargo, que ya se han respondido algunas preguntas acerca de la instrucción de la lectura. Ahora sabemos que el enfoque del lenguaje integral es ineficiente: todos los niños, sin importar su contexto socioeconómico, se benefician con la enseñanza temprana y explícita de la correspondencia entre las letras y los sonidos del habla. Este es un dato afianzado, y lo corroboran numerosos experimentos realizados en las aulas. Además, es coherente con nuestra comprensión actual de la forma en que funciona el cerebro del lector. Al respecto, retroceder, so pretexto de experimentación o de independencia pedagógica, sería desastroso para la adquisición de la lectura.

A medida que surge un consenso científico respecto de los mecanismos de alfabetización, la instrucción en la lectura podría volverse el ejemplo principal de una genuina “neuro-psicopedagogía”: un enfoque integrado y acumulativo en que se resguarde la autonomía de los docentes pero la instrucción tenga como objetivo una búsqueda pragmática de estrategias de educación eficientes.

La ciencia puede contribuir a la enseñanza presentándoles a los educadores el exigente concepto de *experimentación*. Experimentar no significa comprobar ideas vagas elegidas a último minuto. Requiere una planificación paciente y meticulosa. Antes de generar estrategias innovadoras de enseñanza, deben utilizarse todas las fuentes de conocimiento previas. Experimentar también implica que cualquier invención puede ser evaluada cuando se la compara con una situación control (un día diferente, un ejercicio diferente, un grupo diferente...). Tengo confianza en que la experimentación puede mejorar de manera significativa la enseñanza de la lectura. Alcanzar esta promesa, sin embargo, requerirá rigor y atención, respecto de los descubrimientos cognitivos recientes, y también de la vasta experiencia acumulada por los docentes, a menudo los principales expertos en la adquisición de la lectura.

Desafortunadamente, vivimos en un mundo donde la reforma de la educación todavía es fundamentalmente una plataforma electoral útil para quienes crean las medidas y para los políticos. Las políticas educativas avanzan y retroceden en función de los caprichos de los consejos escolares. Las decisiones suelen basarse sobre ideologías bienintencionadas, pero sin pensamiento racional; muchas veces las buenas intenciones se transforman en prácticas de enseñanza erróneas. Los progresistas de izquierda avalaban el enfoque del lenguaje integral invocando el pretexto de que protege a los niños de la tiranía de la instrucción en la decodificación y en la ortografía, y que los niños deberían ser libres de aprender a su propio ritmo. De modo análogo, algunos maestros toda-

vía piensan que las limitaciones que nuestros genes y nuestra estructura cerebral ejercen sobre el aprendizaje son “de derecha”. Estas actitudes no tienen mucho que ver con los datos duros sobre la adquisición de la lectura.

No puedo aceptar que las intuiciones de los directores de escuela deban reemplazar el conocimiento científico cuidadosamente acumulado. Algunas verdades simples deberían ser aceptadas por todos. Pese a las variaciones en la velocidad a la que aprendemos, todos los niños tienen cerebros similares. Sus circuitos cerebrales están bien preparados para las correspondencias sistemáticas de grafemas y fonemas, y lo tienen todo para beneficiarse con el método fónico, el único que les dará la libertad de leer cualquier texto. Por lo general, el tamaño de la clase es irrelevante: todos los niños pueden utilizar los métodos de enseñanza rigurosamente planificados, incluso en clases grandes de veinte o más alumnos. Sin embargo, es esencial detectar rápidamente a los niños que están en riesgo, y desarrollar las consiguientes pruebas eficaces y estandarizadas para detectar la dislexia. El diagnóstico temprano permitirá que se oriente a estos chicos, al menos de manera temporal, hacia clases especiales de lectura con un entrenamiento fonológico reforzado. Por último, aunque la decodificación es esencial para los lectores iniciales, el enriquecimiento del vocabulario es igualmente importante. Un niño debe aprender la morfología de su lengua (prefijos, sufijos y raíces de las palabras), en especial cuando proviene de un contexto desfavorecido o de una familia para la cual esa sea la segunda lengua.

Estas ideas son sencillas, directas, y fáciles de aplicar. Son los primeros retoños de la nueva ciencia de la lectura, el don más extraordinario que podemos transmitirles a las futuras generaciones:

La lectura, que complace y beneficia, que al mismo tiempo deleita e instruye, tiene todo lo que uno podría desear (Jacques Amyot, 1513-1593).

Agradecimientos

Mi investigación sobre la lectura y sus bases cerebrales se realizó en colaboración estrecha con mi amigo y colega Laurent Cohen, profesor de neurología del Hôpital de la Salpêtrière y figura muy importante en la neuropsicología de la lectura. Las discusiones acaloradas con él forjaron muchas de las ideas que desarrollo en este libro. También me gustaría agradecer a todos mis colaboradores en la investigación, y especialmente a Raphaël Gaillard, Antoinette Jobert, Sid Kouider, Denis Le Bihan, Stéphane Lehericy, Jean-François Mangin, Nicolas Molko, Lionel Naccache, Jean-Baptiste Poline, Philippe Pinel, Mariano Sigman, Marcin Szwed y Fabien Vinckier.

Ya perdí la cuenta de los muchos colegas que me guiaron entre la vasta literatura sobre la lectura y sus déficits. Cada uno de ellos hizo diferentes aportes a mi trabajo. Algunos me enviaron sus artículos, otros corrigieron el texto antes de su publicación y con frecuencia le dieron una útil mirada crítica, y otros más leyeron algunos de los capítulos de este libro o me autorizaron a reproducir las figuras de su investigación. Es imposible para mí mencionarlos a todos, pero estoy particularmente agradecido a Irving Biederman, Catherine Billard, Brian Butterworth, Alfonso Caramazza, Jean-Pierre Changeux, Roger Chartier, Joe Devlin, Guinevere Eden, Uta Frith, Albert Galaburda, Jonathan Grainger, Ed Hubbard, Alumit Ishai, Nancy Kanwisher, Régine Kolinsky, Heikki Lyytinen, Christian Marendaz, Bruce McCandliss, Yasuki Miyashita, José Morais, John Morton, Kimihiro Namakura, Tatiana Nazir, Eraldo Paulesu, Monique Plaza, Michael Posner, Cathy Price, Franck Ramus, Sally y Bennett Shaywitz, Dan Sperber, Liliane Sprenger-Charolles, Xiaolin Sun, Ovid Tzeng y Joe Ziegler.

Agradezco también a los muchos lugares que me alojaron mientras escribía este libro: Seattle (con un agradecimiento para Ann y Dan Sterisguth), Boston (con un agradecimiento especial a Elizabeth Spelke y Eliot Blass), Piriac (la casa de verano de la familia Dehaene), la Fondation des Treilles en Tourtour, cerca de Niza, el centro de esquí La Plagne, en los Alpes franceses, el hotel Altiplánico en San Pedro

de Atacama (gracias a Marcela Peña), mi ciudad natal de Palaiseau, y mi laboratorio en el Commissariat à l'Énergie Atomique en Saclay (Francia).

La estructura de este libro se benefició mucho de las atentas lecturas de Odile Jacob, mi editora francesa, y varias rondas de reescritura de Susana Franck.

Este libro está dedicado a mi esposa, Ghislaine Dehaene-Lambertz, mi colaboradora desde hace mucho tiempo, *materfamilias* y fuente constante de aliento y crítica constructiva. Nada habría sido posible sin su ayuda y apoyo.

Bibliografía

Fuentes generales de utilidad

- Cavallo, G. y R. Chartier (1999), *A history of reading in the West*, Boston, University of Massachusetts Press. [Ed. cast.: *Historia de la lectura en el mundo occidental*, Madrid, Taurus, 1997.]
- Changeux, J.-P. (2004), *The physiology of truth: Neuroscience and human knowledge*, Cambridge, Belknap Press.
- Corballis, M. C. e I. L. Beale (1976), *The psychology of left and right*, Nueva York, Erlbaum.
- Coulmas, F. (1989), *The writing systems of the world*, Óxford, Blackwell.
- DeFrancis, J. (1989), *Visible speech: The diverse oneness of writing systems*, Honolulu, University of Hawaii Press.
- Ellis, A. W. (1984), *Reading, writing and dyslexia: A cognitive analysis*, Hillsday, Lawrence Erlbaum Associates.
- Jean, G. (1992), *Writing: The story of alphabets and scripts*, Londres, Thames & Hudson. [Ed. cast.: *La escritura: memoria de la humanidad*, Barcelona, Ediciones B, 1998.]
- Manguel, A. (1997), *A history of reading*, Nueva York, Penguin. [Ed. cast.: *Una historia de la lectura*, Buenos Aires, Siglo XXI, 2014.]
- Miles, T. R. y E. Miles (1999), *Dyslexia: A hundred years on*, 2ª ed., Buckingham, Open University Press. [Ed. cast.: *Dislexia*, México, Trillas, 1999.]
- Mithen, S. (1996), *The prehistory of the mind: The cognitive origins of art, religion and science*, Londres, Thames & Hudson. [Ed. cast.: *Arqueología de la mente: orígenes del arte, la religión y la ciencia*, Barcelona, Crítica-Grijalbo Mondadori, 1998.]
- Posner, M. I. y M. E. Raichle (1994), *Images of mind*, Nueva York, Scientific American Library.

- Rayner, K., B. R. Foorman, C. A. Perfetti, D. Pesetsky y M. S. Seidenberg (2001), "How psychological science informs the teaching of reading", *Psychological Science in the Public Interest*, 2: 31-74.
- Rayner, K. y A. Pollatsek (1989), *The psychology of reading*, Glenwood Cliffs, Prentice Hall.
- Robinson, A. (1995), *The story of writing: Alphabets, hieroglyphs and pictograms*, Londres, Thames & Hudson. [Ed. cast.: *Historia de la escritura*, Barcelona, Destino, 1996.]
- Shaywitz, S. (2003), *Overcoming dyslexia*, Nueva York, Random House.
- Snowling, M. (2003), *Dyslexia*, Óxford, Blackwell.
- Snowling, M. y C. Hulme (comps.) (2003), *The science of reading: A handbook*, Óxford, Blackwell.

Referencias específicas

- Abel, P. L., B. J. O'Brien y J. F. Olavarría (2000), "Organization of callosal linkages in visual area V2 of macaque monkey", *Journal of Comparative Neurology*, 428: 278-293.
- Aghababian, V. y T. A. Nazir (2000), "Developing normal reading skills: Aspects of the visual processes underlying word recognition", *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2): 123-150.
- Ahissar, M. y S. Hochstein (2004), "The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning", *Trends in Cognitive Sciences*, 10: 457-464.
- Ahissar, M., A. Protopapas, M. Reid y M. M. Merzenich (2000), "Auditory processing parallels reading abilities in adults", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(12): 6832-6837.
- Allison, T., G. McCarthy, A. C. Nobre, A. Puce y A. Belger (1994), "Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers and colors", *Cerebral Cortex*, 5: 544-554.
- Allison, T., A. Puce, D. D. Spencer y G. McCarthy (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.
- Altman, G. T. (2002), "Statistical learning in infants", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(24): 15 250-15 251.
- Ans, B., S. Carbonnel y S. Valdois (1998), "A connectionist multiple-trace memory model of polysyllabic word reading", *Psychological Review*, 105(4): 678-723.
- Arguin, M., S. Fiset y D. Bub (2002), "Sequential and parallel letter processing in letter-by-letter dyslexia", *Cognitive Neuropsychology*, 19: 535-555.
- Atran, S. (1990), *Cognitive foundations of natural history*, Nueva York y Cambridge, Cambridge University Press.
- (2002), *In gods we trust: The evolutionary landscape of religion*, Nueva York, Oxford University Press.
- Atran, S., D. Medin y N. Ross (2005), "The cultural mind: Environmental decision making and cultural modeling within and across populations", *Psychological Review*, 112(4), 744-776.
- Baker, C. i., M. Behrmann y C. Olson (2002), "Impact of learning on representation of parts and wholes in monkey inferotemporal cortex", *Nature Neuroscience*, 5(11): 1210-1216.
- Baker, C. I., J. Liu, L. L. Wald, K. K. Kwong, T. Benner y N. Kanwisher (2007), "Visual word processing and experiential origins of functional selectivity in human extrastriate cortex", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21): 9087-9092.
- Barkow, J. H., L. Cosmides y J. Tooby (comps.) (1992), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*, Nueva York, Oxford University Press.
- Baylis, G. C. y J. Driver (2001), "Shape-coding in IT cells generalizes over contrast and mirror reversal, but not figure-ground reversal", *Nature Neuroscience*, 4(9): 937-942.
- Beale, I. L., R. J. Williams, D. M. Webster y M. C. Corballis (1972), "Confusion of mirror images by pigeons and interhemispheric commissures", *Nature*, 238(5363): 348-349.
- Beauchamp, M. S., K. E. Lee, B. D. Argall y A. Martin (2004), "Integration of auditory and visual information about objects in superior temporal sulcus", *Neuron*, 41(5): 809-823.

- Beaulieu, C., C. Plewes, L. A. Paulson, D. Roy, L. Snook, L. Concha y L. Phillips (2005), "Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability", *Neuroimage*, 25(4): 1266-1271.
- Bellenger, L. (1980), *Les méthodes de lecture*, 2ª ed., París, Presses Universitaires de France. [Ed. cast.: *Los métodos de lectura*, Barcelona, Oikos-Tau, 1979.]
- Benasich, A. A. y P. Tallal (2002), "Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment", *Behavioral and Brain Research*, 136: 31-49.
- Bentin, S., Y. Mouchetant-Rostaing, M.-H. Giard, J. F. Echallier y J. Pernier (1999), "ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11: 235-260.
- Berlin, B. (1992), *Ethnobiological classification: Principles of categorization of plants and animals in traditional societies*, Princeton, Princeton University Press.
- Besner, D. (1989), "On the role of outline shape and word-specific visual pattern in the identification of function words: NONE", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 41: 91-105.
- Bhatt, R. S., A. Hayden, A. Reed, E. Bertin y J. Joseph (2006), "Infants' perception of information along object boundaries: Concavities versus convexities", *Journal of Experimental Child Psychology*, 94(2): 91-113.
- Bianchi, L. (1921), *La mécanique du cerveau et la fonction des lobes frontaux*, París, Louis Arnette.
- Biederman, I. (1987), "Recognition-by-components: A theory of human image understanding", *Psychological Review*, 94(2): 115-147.
- Biederman, I. y M. Bar (1999), "One-shot viewpoint invariance in matching novel objects", *Vision Research*, 39(17): 2885-2899.
- Biederman, I. y E. E. Cooper (1991), "Evidence for complete translational and reflectional invariance in visual object priming", *Perception*, 20(5): 585-593.
- Binder, J. R., J. A. Frost, T. A. Hammeke, P. S. Bellgowan, S. M. Rao y R. W. Cox (1999), "Conceptual processing during the conscious

- resting state: A functional MRI study", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(1): 80-95.
- Binder, J. R., J. A. Frost, T. A. Hammeke, P. S. Bellgowan, J. A. Springer, J. N. Kaufman y E. T. Possing (2000), "Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds", *Cerebral Cortex*, 10(5): 512-528.
- Binder, J. R., K. A. McKiernan, M. E. Parsons, C. F. Westbury, E. T. Possing, J. N. Kaufman y L. Buchanan (2003), "Neural correlates of lexical access during visual word recognition", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(3): 372-393.
- Binder, J. R. y J. P. Mohr (1992), "The topography of callosal reading pathways. A case-control analysis", *Brain*, 115: 1807-1826.
- Binder, J. R., C. F. Westbury, E. Liebenthal y L. Buchanan (2006), "Tuning of the human left fusiform gyrus to sublexical orthographic structure", *Neuroimage*, 33(2): 739-748.
- Bitan, T. y A. Karni (2003), "Alphabetical knowledge from whole words training: Effects of explicit instruction and implicit experience on learning script segmentation", *Brain Research Cognitive Brain Research*, 16(3): 323-337.
- Blackmore, S. J. (1999), *The meme machine*, Óxford, Oxford University Press. [Ed. cast.: *La máquina de los memes*, Barcelona, Paidós Ibérica, 2000.]
- Bokde, A. L., M. A. Tagarnets, R. B. Friedman y B. Horwitz (2001), "Functional interactions of the inferior frontal cortex during the processing of words and word-like stimuli", *Neuron*, 30(2): 609-617.
- Booth, J. R., D. D. Burman, J. R. Meyer, D. R. Gitelman, T. B. Parrish y M. M. Mesulam (2002), "Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks", *Neuroimage*, 16(1): 7-22.
- Booth, J. R. y E. Rolls (1998), "View-invariant representations of familiar objects by neurons in the inferior temporal visual cortex", *Cerebral Cortex*, 8(6): 510-523.
- Bornstein, M. H., C. G. Gross y J. Z. Wolf (1978), "Perceptual similarity of mirror images in infancy", *Cognition*, 6(2): 89-116.
- Bosse, M.-L., M.-J. Tainturier, S. Valdois (2007), "Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis", *Cognition*, 104(2): 198-230.

- Bouma, H. (1973), "Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words", *Vision Research*, 13(4): 767-782.
- Boyer, P. (2002), *Religion explained: The evolutionary origins of religious thought*, Nueva York, Basic Books.
- Boysen, S. T., G. G. Berntson y J. Prentice (1987), "Simian scribbles: A reappraisal of drawing in the chimpanzee (*Pan troglodytes*)", *Journal of Comparative Psychology*, 101(1): 82-89.
- Bradley, L. y P. E. Bryant (1978), "Difficulties in auditory organization as a possible cause of reading backwardness", *Nature*, 271: 746-747.
- (1983), "Categorizing sounds and learning to read: A causal connection", *Nature*, 30: 419-421.
- Braibant, J.-M. y F.-M. Gérard (1996), "Savoir lire: Une question de méthodes?", *Bulletin de Psychologie Scolaire et d'Orientation*, 1: 7-45.
- Brambati, S. M., C. Termine, M. Ruffino, G. Stella, F. Fazio, S. Francesco, S. Cappa y D. Perani (2004), "Regional reductions of gray matter volume in familial dyslexia", *Neurology*, 63(4): 742-745.
- Breier, J. I., L. Gray, J. M. Fletcher, R. L. Diehl, P. Klaas, B. R. Foorman y M. R. Molis (2001), "Perception of voice and tone onset time continua in children with dyslexia with and without attention deficit/hyperactivity disorder", *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(3): 245-270.
- Breier, J. I., L. Gray, J. M. Fletcher, B. R. Foorman y P. Klaas (2002), "Perception of speech and nonspeech stimuli by children with dyslexia with and without reading disability and attention deficit hyperactivity disorder", *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(3): 226-250.
- Brinat, S. L. y C. E. Connor (2004), "Underlying principles of visual shape selectivity in posterior inferotemporal cortex", *Nature Neuroscience*, 7(8): 880-886.
- Brown, D. (1991), *Human universals*, Nueva York, McGraw-Hill.
- Brown, W. E., S. Eliez, V. Menon, J. M. Rumsey, C. D. White y A. L. Reiss (2001), "Preliminary evidence of widespread morphological variations of the brain in dyslexia", *Neurology*, 56(6): 781-783.

- Brunswick, N., E. McCrory, C. Price, C. D. Frith y U. Frith (1999), "Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics: A search for Wernicke's Wortschatz?", *Brain*, 122: 1901-1917.
- Brysbaert, M. (1994), "Interhemispheric transfer and the processing of foveally presented stimuli", *Behavioural Brain Research*, 64(1-2): 151-161.
- Büchel, C., C. Price y K. Friston (1998), "A multimodal language region in the ventral visual pathway", *Nature*, 394(6690): 274-277.
- Burton, M. W., S. L. Small y S. E. Blumstein (2000), "The role of segmentation in phonological processing: an fMRI investigation", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(4): 679-690.
- Butterworth, B. (1999), *The mathematical brain*, Londres, Macmillan.
- Byrne, R. W., P. J. Barnard, I. Davidson, V. M. Janik, W. C. McGrew, Á. Miklos y P. Wiessner (2004), "Understanding culture across species", *Trends in Cognitive Sciences*, 8(8): 341-346.
- Calvet, L.-J. (1998), *Histoire de l'écriture*, París, Hachette. [Ed. cast.: *Historia de la escritura: de Mesopotamia hasta nuestros días*, Barcelona, Paidós, 2007.]
- Cantlon, J. F., E. M. Brannon, E. J. Carter y K. A. Pelphey (2006), "Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children", *PLoS Biology*, 4(5): e125.
- Caramazza, A. (1996), "The brain's dictionary", *Nature*, 380: 485-486.
- (1998), "The interpretation of semantic category-specific deficits: What do they reveal about the organization of conceptual knowledge in the brain?", *Neurocase*, 4: 265-272.
- Caramazza, A. y A. E. Hillis (1991), "Lexical representation of nouns and verbs in the brain", *Nature*, 349: 788-790.
- Caramazza, A., A. Laudanna y C. Romani (1988), "Lexical access and inflectional morphology", *Cognition*, 28: 297-332.
- Caramazza, A. y J. R. Shelton (1998), "Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate-inanimate distinction", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10: 1-34.
- Castles, A. y M. Coltheart (2004), "Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read?", *Cognition*, 91(1): 77-111.

- Castro-Caldas, A., P. Cavaleiro Miranda, I. Carmo, A. Reis, F. Leote, C. Ribeiro y E. Ducla-Soares (1999), "Influence of learning to read and write on the morphology of the corpus callosum", *European Journal of Neurology*, 6(1): 23-28.
- Castro-Caldas, A., K. M. Petersson, A. Reis, S. Stone-Elander y M. Ingvar (1998), "The illiterate brain: Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain", *Brain*, 121 (part 9): 1053-1063.
- Catani, M., D. K. Jones, R. Donato y D. H. Ffytche (2003), "Occipito-temporal connections in the human brain", *Brain*, 126 (part 9): 2093-2107.
- Cestnick, L. (2001), "Cross-modality temporal processing deficits in developmental phonological dyslexics", *Brain and Cognition*, 46(3): 319-325.
- Changeux, J.-P. (1983), *L'homme neuronal*, París, Fayard. [Ed. cast.: *El hombre neuronal*, Madrid, Espasa-Calpe, 1986.]
- (1994), *Raison et plaisir*, París, Odile Jacob. [Ed. cast.: *Razón y placer*, Barcelona, Tusquets, 1997.]
- (2002), *L'homme de vérité*, París, Odile Jacob. [Ed. cast.: *El hombre de verdad*, México, FCE, 2005.]
- Changeux, J.-P. y A. Connes (1989), *Matière à pensée*, París, Odile Jacob. [Ed. cast.: *Materia de reflexión*, Barcelona, Tusquets, 1993.]
- Changeux, J.-P. y A. Danchin (1976), "Selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks", *Nature*, 264: 705-712.
- Changizi, M. y S. Shimojo (2005), "Character complexity and redundancy in writing systems over human history", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272(1560): 267-275.
- Changizi, M., Q. Zhang, H. Ye y S. Shimojo (2006), "The structures of letters and symbols throughout human history are selected to match those found in objects in natural scenes", *American Naturalist*, 167(5): E117-139.
- Chao, L. L., J. V. Haxby y A. Martin (1999), "Attribute-based substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects", *Nature Neuroscience*, 2(10): 913-919.

- Chen, Y., S. Fu, S. D. Iversen, S. M. Smith y P. M. Matthews (2002), "Testing for dual brain processing routes in reading: a direct contrast of Chinese character and Pinyin reading using fMRI", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(7): 1088-1098.
- Cheng, K. y C. R. Gallistel (1986), "A purely geometric module in the rat's spatial representation", *Cognition*, 23: 149-178.
- Cheour, M., R. Ceponiene, A. Lehtokoski, A. Luuk, J. Allik, K. Alho y R. Näätänen (1998), "Development of language-specific phoneme representations in the infant brain", *Nature Neuroscience*, 1(5): 351-353.
- Cheung, H., H.-C. Chen (2004), "Early orthographic experience modifies both phonological awareness and on-line speech processing", *Language and Cognitive Processes*, 19: 1-28.
- Chomsky, N. (1980), *Rules and representations*, Óxford, Basil Blackwell. [Ed. cast.: *Reglas y representaciones*, México, FCE, 1983.]
- (1986), *Knowledge of language: Its nature, origins and use*, Westport, Praeger. [Ed. cast.: *El conocimiento del lenguaje: su naturaleza, origen y uso*, Barcelona, Altaya, 1998.]
- (1988), *Language and the problems of knowledge*, Cambridge, MIT Press. [Ed. cast.: *El lenguaje y los problemas del conocimiento: conferencias de Managua*, Madrid, Visor, 1992.]
- Cohen, L. y S. Dehaene (1995), "Number processing in pure alexia: the effect of hemispheric asymmetries and task demands", *Neurocase*, 1: 121-137.
- (2000), "Calculating without reading: Unsuspected residual abilities in pure alexia", *Cognitive Neuropsychology*, 17(6): 563-583.
- (2004), "Specialization within the ventral stream: The case for the visual word form area", *Neuroimage*, 22(1): 466-476.
- Cohen, L., S. Dehaene, L. Naccache, S. Lehéricy, G. Dehaene-Lambertz, M.-A. Hénaff y F. Michel (2000), "The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients", *Brain*, 123: 291-307.

- Cohen, L., C. Henry, S. Dehaene, O. Martinaud, S. Lehéricy, C. Lemer y S. Ferrieux (2004), "The pathophysiology of letter-by-letter reading", *Neuropsychologia*, 42(13): 1768-1780.
- Cohen, L., A. Jobert, D. Le Bihan y S. Dehaene (2004), "Distinct unimodal and multimodal regions for word processing in the left temporal cortex", *Neuroimage*, 24(4): 1256-1270.
- Cohen, L., S. Lehéricy, F. Chochon, C. Lemer, S. Rivaud y S. Dehaene (2002), "Language-specific tuning of our visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area", *Brain*, 125 (part 5): 1054-1069.
- Cohen, L., S. Lehéricy, C. Henry, M. Bourgeois, C. Larroque, C. Sainte-Rose, S. Dehaene y L. Hertz-Pannier (2004), "Learning to read without a left occipital lobe: Right-hemispheric shift of visual word form area", *Annals of Neurology*, 56(6): 890-894.
- Cohen, L., O. Martinaud, C. Lemer, S. Lehéricy, Y. Samson, M. Obadla, A. Slachevsky y S. Dehaene (2003), "Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias", *Cerebral Cortex*, 13: 1313-1333.
- Coltheart, M. y V. Coltheart (1997), "Reading comprehension is not exclusively reliant upon phonological representation", *Cognitive Neuropsychology*, 14: 167-175.
- Coltheart, M., E. Davelaar, J. Torfi Jonasson y D. Besner (1977), "Access to the internal lexicon", en S. Dornic (comp.), *Attention and performance VI*, Londres, Academic Press, pp. 535-555.
- Coltheart, M., K. Rastle, C. Perry, R. Langdon y J. C. Ziegler (2001), "DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud", *Psychological Review*, 108(1): 204-256.
- Coqueugniot, H., J.-J. Hublin, F. Veillon, F. Houët y T. Jacob (2004), "Early brain growth in *Homo erectus* and implications for cognitive ability", *Nature*, 431(7007): 299-302.
- Corballis, M. C. e I. L. Beale (1976), *The psychology of left and right*, Nueva York, Erlbaum.
- (1993), "Orton revisited: Dyslexia, laterality and left-right confusion", en D. M. Willows, R. S. Kruk y E. Corcos (comps.), *Visual processes in reading and reading disabilities*, Hillsdale, Erlbaum.

- Corballis, M. C., L. Macadie, A. Crotty e i. L. Beale (1985), "The naming of disoriented letters by normal and reading-disabled children", *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 26(6): 929-938.
- Cornell, J. M. (1985), "Spontaneous mirror-writing in children", *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 39: 174-179.
- Coslett, H. B. y N. Monsul (1994), "Reading with the right hemisphere: Evidence from transcranial magnetic stimulation", *Brain and Language*, 46: 198-211.
- Coslett, H. B. y E. M. Saffran (1989), "Evidence for preserved reading in 'pure alexia'", *Brain*, 112: 327-359.
- Coslett, H. B., E. M. Saffran, S. Greenbaum y H. Schwartz (1993), "Reading in pure alexia: The effect of strategy", *Brain*, 116: 21-37.
- Coulmas, F. (1989), *The writing systems of the world*, Óxford, Blackwell.
- Cytowic, R. E. (1998), *The man who tasted shapes*, Cambridge, MIT Press.
- Damasio, A. R. (1989a), "The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones", *Neural Computation*, 1: 123-132.
- (1989b), "Time-locked multiregional retroactivation: A systems-level proposal for the neural substrates of recall and recognition", *Cognition*, 33: 25-62.
- Damasio, A. R. y H. Damasio (1983), "The anatomic basis of pure alexia", *Neurology*, 33: 1553-1583.
- Damasio, H., T. J. Grabowski, D. Tranel, R. D. Hichwa y A. R. Damasio (1996), "A neural basis for lexical retrieval", *Nature*, 380 (11 de abril): 499-505.
- Danziger, E. y E. Pederson (1998), "Through the looking glass: Literacy, writing systems and mirror-image discrimination", *Written Language and Literacy*, 1: 152-167.
- Davidoff, J. y E. K. Warrington (1999), "The bare bones of object recognition: Implications from a case of object recognition impairment", *Neuropsychologia*, 37(3): 279-292.
- (2001), "A particular difficulty in discriminating between mirror images", *Neuropsychologia*, 39(10): 1022-1036.

- Dawkins, R. (1989), *The selfish gene*, Óxford, Oxford University Press.
[Ed. cast.: *El gen egoísta*, Barcelona, Labor, 1979.]
- (1996), *The blind watchmaker: Why the evidence of evolution reveals a universe without design*, Nueva York, W. W. Norton. [Ed. cast.: *El relojero ciego*, Barcelona, Labor, 1988.]
- De Haan, M., M. H. Johnson y H. Halit (2003), "Development of face-sensitive event-related potentials during infancy: a review", *International Journal of Psychophysiology*, 51(1): 45-58.
- DeFrancis, J. (1989), *Visible speech: The diverse oneness of writing systems*, Honolulu, University of Hawaii Press.
- Dehaene, S. (1995), "Electrophysiological evidence for category-specific word processing in the normal brain", *NeuroReport*, 6: 2153-2157.
- (1997), *The number sense*, Nueva York, Oxford University Press.
- (2005), "Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The 'neuronal recycling' hypothesis", en S. Dehaene, J.-R. Duhamel, M. D. Hauser y G. Rizzolatti (comps.), *From monkey brain to human brain*, Cambridge, MIT Press, pp. 133-157.
- Dehaene, S. y J.-P. Changeux (2005), "Ongoing spontaneous activity controls access to consciousness: A neuronal model for inattentive blindness", *PLoS Biology*, 3(5): e141.
- Dehaene, S. y L. Cohen (2007), "Cultural recycling of cortical maps", *Neuron*, 56(2): 384-398.
- Dehaene, S., L. Cohen, M. Sigman y F. Vinckler (2005), "The neural code for written words: A proposal", *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7): 335-341.
- Dehaene, S., V. Izard, P. Pica y E. Spelke (2006), "Core knowledge of geometry in an Amazonian indigene group", *Science*, 311: 381-384.
- Dehaene, S., A. Jobert, L. Naccache, P. Ciuciu, J.-B. Poline, D. Le Bihan y L. Cohen (2004), "Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence", *Psychological Science*, 15(5): 307-313.
- Dehaene, S., G. Le Clec'h, J.-B. Poline, D. Le Bihan y L. Cohen (2004), "The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus", *NeuroReport*, 13(3): 321-325.

- Dehaene, S., L. Naccache, L. Cohen, D. Le Bihan, J.-F. Mangin, J.-B. Poline y D. Rivière (2001), "Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming", *Nature Neuroscience*, 4(7): 752-758.
- Dehaene, S., M. Piazza, P. Pinel y L. Cohen (2003), "Three parietal circuits for number processing", *Cognitive Neuropsychology*, 20: 487-506.
- Dehaene-Lambertz, G. (1997), "Electrophysiological correlates of categorical phoneme perception in adults", *NeuroReport*, 9(8): 1885-1888.
- Dehaene-Lambertz., G. y Baillet, S. (1998), "A phonological representation in the infant brain", *NeuroReport*, 9(8): 1885-1888.
- Dehaene-Lambertz, G. y S. Dehaene (1994), "Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants", *Nature*, 370: 292-295.
- Dehaene-Lambertz, G., S. Dehaene y L. Hertz-Pannier (2002), "Functional neuroimaging of speech perception in infants", *Science*, 298(5600): 2013-2015.
- Déjerine, J.-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.
- Del Cul, A., S. Baillet y S. Dehaene (2007), "Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness", *PLoS Biology*, 5(10): 3260.
- Demb, J. B., G. M. Boynton, M. Best y D. J. Heeger (1998), "Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia", *Vision Research*, 38(11): 1555-1559.
- Demb, J. B., G. M. Boynton y D. J. Heeger (1997), "Brain activity in visual cortex predicts individual differences in reading performance", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(24): 13 363-13 366.
- (1998), "Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia", *Journal of Neuroscience*, 18(17): 6939-6951.
- Dennett, D. (1978), *Brainstorms*, Cambridge, MIT Press.
- (2006), *Breaking the spell: Religion as a natural phenomenon*, Nueva York, Viking.

- Desimone, R. y C. G. Gross (1979), "Visual areas in the temporal cortex of the macaque", *Brain Research*, 178(2-3): 363-380.
- Deutsch, G. K., R. F. Dougherty, R. Bammer, W. T. Siok, J. D. E. Gabrieli y B. Wandell (2005), "Children's reading performance is correlated with white matter structure measured by diffusion tensor imaging", *Cortex*, 41(3): 354-363.
- Devlin, J. T., H. L. Jamison, P. M. Matthews y L. M. Gonnerman (2004), "Morphology and the internal structure of words", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(41): 14 984-14 988.
- Ding, G., D. Peng y M. Taft (2004), "The nature of the mental representation of radicals in Chinese: A priming study", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(2): 530-539.
- Di Virgilio, G. y S. Clarke (1997), "Direct interhemispheric visual input to human speech areas", *Human Brain Mapping*, 5: 347-354.
- Downing, P. E., Y. Jiang, M. Shuman y N. Kanwisher (2001), "A cortical area selective for visual processing of the human body", *Science*, 293(5539): 2470-2473.
- Eckert, M. (2004), "Neuroanatomical markers for dyslexia: A review of dyslexia structural imaging studies", *Neuroscientist*, 10(4): 362-371.
- Eckert, M. A., C. M. Leonard, T. L. Richards, E. H. Aylward, J. Thomson y V. W. Berninger (2003), "Anatomical correlates of dyslexia: Frontal and cerebellar findings", *Brain*, 126 (part 2): 482-494.
- Eden, G. F., K. M. Jones, K. Cappell, L. Gareau, F. B. Wood, T. A. Zeffiro, N. A. E. Dletz, J. A. Agnew y D. L. Flowers (2004), "Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia", *Neuron*, 44(3): 411-422.
- Eden, G., J. W. VanMeter, J. M. Rumsey, J. M. Maisog, R. P. Wood y T. A. Zeffiro (1996), "Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging", *Nature*, 382(6586): 66-69.
- Enri, L. C., S. R. Nunes, S. A. Stahl y D. M. Willows (2001), "Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis", *Review of Educational Research*, 71: 393-447.

- Ehri, L. C., S. R. Nunes, D. M. Willows, B. V. Schuster, Z. Yaghoub-Zadeh y T. Shanahan (2001), "Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis", *Reading Research Quarterly*, 36: 250-287.
- Ehri, L. C. y L. S. Wilce (1980), "The influence of orthography on readers' conceptualization of the phonemic structure of words", *Applied Psycholinguistics*, 1: 371-385.
- Eimas, P. D., E. R. Siqueland, P. Jusczyk y J. Vigorito (1971), "Speech perception in infants", *Science*, 171: 303-306.
- Ellis, A. W. (2004), "Length, formats, neighbours, hemispheres and the processing of words presented laterally or at fixation", *Brain and Language*, 35(2): 254-273.
- Ellis A. W., A. W. Young, C. Anderson (1988), "Modes of word recognition in the left and right cerebral hemispheres", *Brain and Language*, 35(2): 254-273.
- Elston, G. N., R. Benavides-Piccione y J. DeFelipe (2001), "The pyramidal cell in cognition: A comparative study in human and monkey", *Journal of Neuroscience*, 21(17): RC163.
- Fagot-Largeault, A. (2006), *Vivre le handicap et ses prothèses*, conferencia dictada en el Collège de France.
- Felnerberg, T. y G. Jones (1985), "Object reversals after parietal lobe infarction: A case report", *Cortex*, 21: 261-271.
- Ferrand, L. (2001), *Cognition et lecture: Processus de base de reconnaissance des mots écrits chez l'adulte*, Bruselas, DeBoeck Université.
- Ferrand, L. y J. Grainger (1992), "Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked non-word priming", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 45(3): 353-372.
- (1993), "The time course of orthographic and phonological code activation in the early phases of visual word recognition", *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31: 119-122.
- (1994), "Effects of orthography are independent of phonology in masked form priming", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 47(2): 365-382.

- Fiebach, C. J., A. D. Friederici, K. Müller y D. Y. von Cramon (2002), "fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1): 11-23.
- Fiez, J. A., D. A. Balota, M. E. Raichle y S. E. Petersen (1999), "Effects of lexicality, frequency, and spelling-to-sound consistency on the functional anatomy of reading", *Neuron*, 24(1): 205-218.
- Fiez, J. A. y S. E. Petersen (1998), "Neuroimaging studies of word reading", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(3): 914-921.
- Finger, S. (1994), *Origins of neuroscience: A history of explorations into brain function*, Nueva York, Oxford University Press.
- Fischer, F. W., I. Y. Liberman y D. Shankweiler (1978), "Reading reversals and developmental dyslexia: A further study", *Cortex*, 14(4): 496-510.
- Fiser, J. e I. Biederman (2001), "Invariance of long-term visual priming to scale, reflection, translation, and hemisphere", *Vision Research*, 41(2): 221-234.
- Fiset, D., M. Arguin, D. Bub, G. W. Humphreys y M. J. Riddoch (2005), "How to make the word-length effect disappear in letter-by-letter dyslexia", *Psychological Science*, 16(7): 535-541.
- Fisher, S. E. y C. Francks (2006), "Genes, cognition and dyslexia: Learning to read the genome", *Trends in Cognitive Sciences*, 10(6): 250-257.
- Fodor, J. A. (1983), *The modularity of mind*, Cambridge, MIT Press. [Ed. cast.: *La modularidad de la mente: un ensayo sobre la filosofía de las facultades*, Madrid, Morata, 1986.]
- Fox, M. D., M. Corbetta, A. Z. Snyder, J. L. Vincent y M. E. Raichle (2006), "Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(26): 10 046-10 051.
- Friederici, A. D., B. Opitz y D. Y. von Cramon (2000), "Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: An fMRI investigation of different word types", *Cerebral Cortex*, 10(7): 698-705.

- Frith, U. (1985), "Beneath the surface of developmental dyslexia", en K. Patterson, J. C. Marshall y M. Coltheart (comps.), *Surface dyslexia: Cognitive and neuropsychological studies of phonological reading*, Hillsdale, Erlbaum, pp. 301-330.
- Fu, S., Y. Chen, S. Smith, S. D. Iversen y P. M. Matthews (2002), "Effect of word form on brain processing of written Chinese", *Neuroimage*, 17(3): 1538-1548.
- Gaillard, R., A. Del Cul, L. Naccache, F. Vinckier, L. Cohen y S. Dehaene (2006), "Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(19): 7524-7529.
- Gaillard, R., L. Naccache, P. Pinel, S. Clémenceau, E. Volle, D. Hasboun, S. Dupont, M. Baulac, S. Dehaene, C. Adam y L. Cohen (2006), "Direct intracranial, fMRI, and lesion evidence for the causal role of left inferotemporal cortex in reading", *Neuron*, 50(2): 191-204.
- Gaillard, W. D., L. M. Balsamo, Z. Ibrahim, B. C. Sachs y B. Xu (2003), "fMRI identifies regional specialization of neural networks for reading in young children", *Neurology*, 60(1): 94-100.
- Galaburda, A. M. y M. Livingstone (1993), "Evidence for a magnocellular deficit in developmental dyslexia", en P. Tallal, A. M. Galaburda, R. R. Llinás y C. von Euler (comps.), *Temporal information processing in the nervous system: Special reference to dyslexia and dysphasia*, Nueva York, New York Academy of Sciences, pp. 70-82.
- Galaburda, A., A. M., J. LoTurco, F. Ramus, H. R. Fitch y G. D. Rosen (2006), "From genes to behavior in developmental dyslexia", *Nature Neuroscience*, 9(10): 1213-1217.
- Galaburda, A. M., M. T. Menard y G. D. Rose (1994), "Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(17): 8010-8013.
- Galaburda, A. M., G. F. Sherman, G. D. Rosen, F. Aboitiz y N. Geschwind (1985), "Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies", *Annals of Neurology*, 18(2): 222-233.

- Gathers, A. D., R. Bhatt, C. R. Corbly, A. B. Farley y J. E. Joseph (2004), "Developmental shifts in cortical loci for face and object recognition", *NeuroReport*, 15(10): 1549-1553.
- Gauthier, I., T. Curran, K. M. Curby y D. Collins (2003), "Perceptual interference supports a non-modular account of face processing", *Nature Neuroscience*, 6(4): 428-432.
- Gauthier, I., P. Skudlarski, J. C. Gore y A. W. Anderson (2000), "Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition", *Nature Neuroscience*, 3(2): 191-197.
- Gauthier, I., M. J. Tarr, A. W. Anderson, P. Skudlarski y J. C. Gore (1999), "Activation of the middle fusiform 'face area' increases with expertise in recognizing novel objects", *Nature Neuroscience*, 2(6): 568-573.
- Gentaz, E., P. Colé y F. Bara (2003), "Evaluation d'entraînements multi-sensoriels de préparation à la lecture pour les enfants en grande section de maternelle: Une étude sur la contribution du système haptique manuel", *L'Année Psychologique*, 104: 561-584.
- Georgiewa, P., R. Rzanny, C. Gaser, U.-J. Gerhard, U. Vieweg, D. Freesmeyer, H.-J. Mentzel, W. A. Kaiser y B. Blanz (2002), "Phonological processing in dyslexic children: A study combining functional imaging and event related potentials", *Neuroscience Letters*, 318(1): 5-8.
- Georgiewa, P., R. Rzanny, J.-M. Hopf, R. Knab, V. Glauche, W. A. Kaiser y B. Blanz (1999), "fMRI during word processing in dyslexic and normal reading children", *Neuroreport*, 10(16): 3459-3465.
- Gergely, G., H. Bekkering e I. Király (2002), "Rational imitation in preverbal infants", *Nature*, 415(6873): 755.
- Geschwind, N. (1965), "Disconnection syndromes in animals and man", *Brain*, 88: 237-294.
- Golgoux, R. (2000), "Apprendre à lire à l'école: Les limites d'une approche idéovisuelle", *Psychologie Française*, 45(3): 235-245.
- Goodale, M. A. y A. D. Milner (1992), "Separate visual pathways for perception and action", *Trends in Neuroscience*, 15: 20-25.
- Goswami, U. (1986), "Children's use of analogy in learning to read: A developmental study", *Journal of Experimental Child Psychology*, 42: 73-83.

- Goswami, U., J.-E. Gombert y L. F. de Barrera (1998), "Children's orthographic representations and linguistic transparency: Nonsense word reading in English, French and Spanish", *Applied Psycholinguistics*, 19: 19-52.
- Gottfried, J. A., F. Sancar y A. Chatterjee (2003), "Acquired mirror writing and reading: Evidence for reflected graphemic representations", *Neuropsychologia*, 41(1): 96-107.
- Gould, J. L. y P. Marler (1987), "Learning by instinct", *Scientific American*, 256: 74-85.
- Gould, S. J. (1992), *The panda's thumb: More reflections in natural history*, Nueva York, W. W. Norton. [Ed. cast.: *El pulgar del panda*, Barcelona, Booket, 2012.]
- Gould, S. J. y E. S. Vrba (1982), "Exaptation: A missing term in the science of form", *Paleobiology*, 8(1): 4-15.
- Gouteux, S., C. Thinus-Blanc y J. Vauclair (2001), "Rhesus monkeys use geometric and nongeometric information during a reorientation task", *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(3): 505-519.
- Grabowski, T. J., H. Damasio y A. R. Damasio (1998), "Premotor and prefrontal correlates of category-related lexical retrieval", *Neuroimage*, 7(3): 232-243.
- Grainger, J., J.-P. Granier, F. Farioli, E. van Assche y W. J. B. van Heuven (2006), "Letter position information and printed word perception: The relative-position priming constraint", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(4): 865-884.
- Grainger, J. y A. M. Jacobs (1996), "Orthographic processing in visual word recognition: A multiple read-out model", *Psychological Review*, 103(3): 518-565.
- Grainger, J. y W. van Heuven (2003), "Modeling letter position coding in printed word perception", en P. Bonin (comp.), *The mental lexicon*, Nueva York, Nova Science Publishers, pp. 1-24.
- Grainger, J. y C. Whitney (2004), "Does the human mind read words as a whole?", *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2): 58-59.

- Grainger, J. y J. C. Ziegler (2007), "Cross-code consistency effects in visual word recognition", en E. L. Grigorenko y A. J. Naples (comps.), *Single-word reading: Biological and behavioral perspectives*, Nueva York, Erlbaum, pp. 129-158.
- Grill-Spector, K., T. Kushnir, T. Hendler, S. Edelman, Y. Itzchak y R. Malach (1998), "A sequence of object-processing stages revealed by fMRI in the human occipital lobe", *Human Brain Mapping*, 6(4): 316-328.
- Grill-Spector, K. y R. Malach (2001), "fMRI-adaptation: A tool for studying the functional properties of human cortical neurons", *Acta Psychologica* (Ámsterdam), 107(1-3): 293-321.
- Grill-Spector, K., R. Sayres y D. Ress (2006), "High-resolution imaging reveals highly selective nonface clusters in the fusiform face area", *Nature Neuroscience*, 9(9): 1177-1185.
- Grigorenko, E. L. (2003), "The first candidate gene for dyslexia: Turning the page of a new chapter of research", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(20): 11 190-11 192.
- Ha Duy Thuy, D., K. Matsuo, K. Nakamura, K. Toma, T. Oga, T. Nakai, H. Shibasaki y H. Fukuyama (2004), "Implicit and explicit processing of Kanji and Kana words and non-words studied with fMRI", *NeuroImage*, 23(3): 878-889.
- Habib, M. (2000), "The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis", *Brain*, 123 (part 12): 2372-2399.
- Hagoort, P., P. Indefrey, C. Brown, H. Herzog, H. Steinmetz y R. J. Seitz (1999), "The neural circuitry involved in the reading of German words and pseudowords: a PET study", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(4): 383-398.
- Hammond, P. y P. Hughes (1978), *Upon the pun: Dual meaning in words and pictures*, Londres, W. H. Allen.
- Hanley, J. R. y J. Kay (1996), "Reading speed in pure alexia", *Neuropsychologia*, 34(12): 1165-1174.
- Hannula-Jouppi, K., N. Kaminen-Ahola, M. Taipale, R. Eklund, J. Nopola-Hemmi, H. Kääriäinen y J. Kere (2005), "The axon guidance receptor gene ROBO1 is a candidate gene for developmental dyslexia", *PLoS Genetics*, 1(4): e50.

- Harm, M. W. y M. S. Seidenberg (1999), "Phonology, reading acquisition, and dyslexia: Insights from connectionist models", *Psychological Review*, 106(3): 491-528.
- (2004), "Computing the meanings of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes", *Psychological Review*, 111(3): 662-720.
- Hasson, U., M. Harel, I. Levy y R. Malach (2003), "Large-scale mirror-symmetry organization of human occipito-temporal object areas", *Neuron*, 37(6): 1027-1041.
- Hasson, U., I. Levy, M. Behrmann, T. Hendler y R. Malach (2002), "Eccentricity bias as an organizing principle for human high-order object areas", *Neuron*, 34(3): 479-490.
- Haxby, J. V., M. I. Gobbini, M. L. Furey, A. Ishai, J. L. Schouten y P. Pietrini (2001), "Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex", *Science*, 293(5539): 2425-2430.
- Haxby, J. V., A. Ishai, L. L. Chao, L. G. Ungerleider y A. Martin (2000), "Object-form topology in the ventral temporal lobe: Response to I. Gauthier (2000)", *Trends in Cognitive Sciences*, 4(1): 3-4.
- Heilman, K. M., G. Howell, E. Valenstein y L. Rothi (1980), "Mirror-reading and writing in association with right-left spatial disorientation", *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 43(9): 774-780.
- Helenius, P., A. Tarkiainen, P. L. Cornelissen, P. C. Hansen y R. Salmelin (1999), "Dissociation of normal feature analysis and efficient processing of letter-strings in dyslexic adults", *Cerebral Cortex*, 9(5): 476-483.
- Hermer, L. y E. Spelke (1996), "Modularity and development: The case of spatial reorientation", *Cognition*, 61(3): 195-232.
- Houzel, J.-C., M. L. Carvalho y R. Lent (2002), "Interhemispheric connections between primary visual areas: Beyond the midline rule", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 35(12): 1441-1453.
- Hubbard, E. M., A. C. Arman, V. S. Ramachandran y G. M. Boynton (2005), "Individual differences among grapheme-color synesthetes: Brain behavior correlations", *Neuron*, 45(6): 975-985.

- Humphrey, N. K. y L. Weiskrantz (1969), "Size constancy in monkeys with inferotemporal lesions", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 21(3): 225-238.
- Humphreys, G. W., L. J. Evett y P. T. Quinlan (1990), "Orthographic processing in visual word identification", *Cognitive Psychology*, 22: 517-560.
- Hutzler, F., J. Ziegler, C. Perry, H. Wimmer y M. Zorzi (2004), "Do current connectionist learning models account for reading development in different languages?", *Cognition*, 91(3): 273-296.
- Intriligator, J., M.-A. Hénaff y F. Michel (2000), "Able to name, unable to compare: The visual abilities of a posterior split-brain patient", *NeuroReport*, 11(12): 2639-2642.
- Irki, A. (2005), "A prototype of Homo-Faber: A silent precursor of human intelligence in the tool-using monkey brain", en S. Dehaene, J.-R. Duhamel, M. D. Hauser y G. Rizzolatti (comps.), *From monkey brain to human brain*, Cambridge, MIT Press, pp. 133-157.
- Ishai, A., L. G. Ungerleider, A. Martin y J. V. Haxby (2000), "The representation of objects in the human occipital and temporal cortex", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(supl. 2): 35-51.
- Ishai, A., L. G. Ungerleider, A. Martin, J. L. Schouten y J. V. Haxby (1999), "Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(16): 9379-9384.
- Ito, M. y H. Komatsu (2004), "Representation of angles embedded within contour stimuli in area V2 of macaque monkeys", *Journal of Neuroscience*, 24(13): 3313-3324.
- Ito, M., H. Tamura, I. Fujita y K. Tanaka (1995), "Size and position invariance of neuronal responses in monkey inferotemporal cortex", *Journal of Neurophysiology*, 73: 218-226.
- Jacob, F. (1977), "Evolution and tinkering", *Science*, 196(4295): 1161-1166.
- Jacquemot, C., C. Pallier, D. Le Bihan, S. Dehaene y E. Dupoux (2003), "Phonological grammar shapes the auditory cortex: A functional magnetic resonance imaging study", *Journal of Neuroscience*, 23(29): 9541-9546.

- Jared, D. y M. S. Seidenberg (1991), "Does word identification proceed from spelling to sound to meaning?", *Journal of Experimental Psychology: General*, 120: 358-394.
- Jobard, G., F. Crivello y N. Tzourio-Mazoyer (2003), "Evaluation of the dual route theory of reading: A metaanalysis of 35 neuroimaging studies", *Neuroimage*, 20(2): 693-712.
- Kanwisher, N., J. McDermott y M. M. Chun (1997), "The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception", *Journal of Neuroscience*, 17: 4302-4311.
- Karmiloff-Smith, A. (1992), *Beyond modularity*, Cambridge, MIT Press. [Ed. cast.: *Más allá de la modularidad: la ciencia cognitiva desde la perspectiva del desarrollo*, Madrid, Alianza, 1994.]
- Kawai, N. y T. Matsuzawa (2000), "Numerical memory span in a chimpanzee", *Nature*, 403(6765): 39-40.
- Kellman, P. J. y E. Spelke (1983), "Perception of partly occluded objects in infancy", *Cognitive Psychology*, 15: 483-524.
- Kilgard, M. P. y M. M. Merzenich (1998), "Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity", *Science*, 279(5357): 1714-1718.
- Kitterle, F. L. y L. M. Selig (1991), "Visual field effects in the discrimination of sine-wave gratings", *Perception and Psychophysics*, 50(1): 15-18.
- Klingberg, T., M. Hedehus, E. Temple, T. Salz, J. D. E. Gabrieli, M. E. Moseley y R. A. Poldrack (2000), "Microstructure of temporoparietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging", *Neuron*, 25(2): 493-500.
- Klüver, H. y P. C. Bucy (1937), "Psychic blindness and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in Rhesus monkey", *American Journal of Physiology*, 119: 352-353.
- Kolinsky, R., J. Morais, A. Content y L. Cary (1987), "Finding parts within figures: A developmental study", *Perception*, 16(3): 399-407.
- Kolinsky, R., J. Morais y A. Verhaeghe (1994), "Visual separability: A study on unschooled adults", *Perception*, 23(4): 471-486.

- Kotz, S. A., S. F. Cappa, D. Y. von Cramon y A. D. Friederici (2002), "Modulation of the lexical-semantic network by auditory semantic priming: an event-related functional MRI study", *Neuroimage*, 17(4): 1761-1772.
- Koyama, S., R. Kakigi, M. Hoshiyama y Y. Kitamura (1998), "Reading of Japanese Kanji (morphograms) and Kana (syllabograms): A magnetoencephalographic study", *Neuropsychologia*, 36(1): 83-98.
- Kraebel, K. S., R. N. West y P. Gerhardstein (2007), "The influence of training views on infants' long-term memory for simple 3D shapes", *Developmental Psychobiology*, 49(4): 406-420.
- Kuhl, P. K. (2004), "Early language acquisition: Cracking the speech code", *Nature Reviews Neuroscience*, 5(11): 831-843.
- Kujala, T., K. Karma, R. Ceponiene, S. Belitz, P. Turkkila, M. Tervaniemi y R. Näätänen (2001), "Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(18): 10 509-10 514.
- Kuo, W.-J., T.-C. Yeh, J.-R. Duann, Y.-T. Wu, L.-T. Ho, D. Hung, O. J. L. Tzeng y J.-C. Hsieh (2001), "A left-lateralized network for reading Chinese words: A 3 T fMRI study", *NeuroReport*, 12(18): 3997-4001.
- Kuo, W.-J., T.-C. Yeh, C.-Y. Lee, Y.-T. Wu, C.-C. Chou, D. Hung, O. J. L. Tzeng y J.-C. Hsieh (2003), "Frequency effects of Chinese character processing in the brain: An event-related fMRI study", *Neuroimage*, 18(3): 720-730.
- Lachmann, T. y T. Geyer (2003), "Letter reversals in dyslexia: Is the case really closed? A critical review and conclusions", *Psychology Science*, 45: 50-70.
- Lambon-Ralph, M. A., C. Jarvis y A. W. Ellis (1997), "Life in a mirrored world: Report of a case showing mirror reversal in reading and writing and for non-verbal materials", *Neurocase*, 3: 249-258.
- Larson, K. (2004), *The science of word recognition*, disponible en <www.microsoft.com/typography/ctfonts/WordRecognition.aspx>.
- Laufs, H., K. Krakow, P. Sterzer, E. Eger, A. Beyerle, A. Salek-Haddadi y A. Kleinschmidt (2003), "Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain

- activity fluctuations at rest", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(19): 11 053-11 058.
- Laureys, S. (2005), "The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state", *Trends in Cognitive Sciences*, 9: 556-559.
- Lavidor, M., H. Babkoff y M. Faust (2001), "Analysis of standard and non-standard visual word format in the two hemispheres", *Neuropsychologia*, 39(4): 430-439.
- Lavidor, M. y A. W. Ellis (2002), "Word length and orthographic neighborhood size effects in the left and right cerebral hemispheres", *Brain and Language*, 80: 45-62.
- Le Bihan, D., S. Urayama, T. Aso, T. Hanakawa y H. Fukuyama (2006), "Direct and fast detection of neuronal activation in the human brain with diffusion MRI", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(21): 8263-8268.
- Lee, C.-Y., J.-L. Tsai, W.-J. Kuo, T.-C. Yeh, Y.-T. Wu, L.-T. Ho, D. L. Hung, O. J. L. Tzeng y J.-C. Hsieh (2004), "Neuronal correlates of consistency and frequency effects on Chinese character naming: An event-related fMRI study", *Neuroimage*, 23(4): 1235-1245.
- Lee, K.-M. (2004), "Functional MRI comparison between reading ideographic and phonographic scripts of one language", *Brain and Language*, 91(2): 245-251.
- Leff, A. P., H. Crewes, G. T. Plant, S. K. Scott, C. Kennard y R. J. Wise (2001), "The functional anatomy of single-word reading in patients with hemianopic and pure alexia", *Brain*, 124 (part 3): 510-521.
- Leppanen, P., U. Richardson, E. Pihko, K. Eklund, T. Guttorm, M. Aro y H. Lyytinen (2002), "Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia", *Developmental Neuropsychology*, 22(1): 407-422.
- Lerner, Y., T. Hendler, D. Ben-Bashat, M. Harel y R. Malach (2001), "A hierarchical axis of object processing stages in the human visual cortex", *Cerebral Cortex*, 11(4): 287-297.
- Leroi-Gourhan, A. (1983), *Le fil du temps*, Paris, Fayard.
- (1993), *Gesture and speech*, Cambridge, MIT Press.

- Lévi-Strauss, C. (1958), *Anthropologie structurale*, París, Plon. [Ed. cast.: *Antropología estructural*, México, Siglo XXI, 1979.]
- Levy, I., U. Hasson, G. Avidan, T. Hendler y R. Malach (2001), "Center-periphery organization of human object areas", *Nature Neuroscience*, 4(5): 533-539.
- Lieberman, I. Y., D. Shankweiler, C. Orlando, K. S. Harris y F. B. Bertri (1971), "Letter confusions and reversals of sequence in the beginning reader: Implications for Orton's theory of developmental dyslexia", *Cortex*, 7(2): 127-142.
- Lissauer, H. (1890), "Ein Fall von Seelenblindheit nebst einem Beitrage zur Theorie derselben", *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 21: 222-270.
- Logothetis, N. K., J. Pauls y T. Poggio (1995), "Shape representation in the inferior temporal cortex of monkeys", *Current Biology*, 5(5): 552-563.
- Longtin, C.-M., J. Segui y P. Hallé (2003), "Morphological priming without morphological relationship", *Language and Cognitive Processes*, 18: 313-334.
- Lukatela, G., S. J. Frost y M. T. Turvey (1998), "Phonological priming by masked nonword primes in the lexical decision task", *Journal of Memory and Language*, 39: 666-683.
- Malach, R., I. Levy y U. Hasson (2002), "The topography of high-order human object areas", *Trends in Cognitive Sciences*, 6(4): 176-185.
- Manguel, A. (1997), *A history of reading*, Nueva York, Penguin. [Ed. cast.: *Una historia de la lectura*, Buenos Aires, Siglo XXI, 2014.]
- Mann, V. A. (1986), "Phonological awareness: The role of reading experience", *Cognition*, 24(1-2): 65-92.
- Marcus, G. F. e I. Berent (2003), "Are there limits to statistical learning?", *Science*, 300(5616): 53-55; respuesta de M. Seidenberg y otros en ese mismo número.
- Marcus, G. F., S. Vijayan, S. Bandi Rao y P. M. Vishton (1999), "Rule learning by seven-month old infants", *Science*, 283(5398): 77-80.
- Marinković, K., R. P. Dhond, A. M. Dale, M. Glessner, V. Carr y E. Halgren (2003), "Spatiotemporal dynamics of modality-specific and supramodal word processing", *Neuron*, 38(3): 487-497.

- Marks, L. E. (1978), *The unity of the senses*, Nueva York, Academic Press.
- Marshall, J. C. y F. Newcombe (1973), "Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach", *Journal of Psycholinguistic Research*, 2: 175-199.
- Martin, A., C. L. Wiggs, L. G. Ungerleider y J. V. Haxby (1996), "Neural correlates of category-specific knowledge", *Nature*, 379: 649-652.
- Martinet, C., S. Valdois y M. Fayol (2004), "Lexical orthographic knowledge develops from the beginning of literacy acquisition", *Cognition*, 91(2): B11-22.
- Matsuzawa, T. (1985), "Use of numbers by a chimpanzee", *Nature*, 315(6014): 57-59.
- Maurer, D., T. Pathman y C. J. Mondloch (2006), "The shape of boubas: Sound-shape correspondences in toddlers and adults", *Developmental Science*, 9(3): 316-322.
- Maurer, U., S. Brem, K. Bucher y D. Brandeis (2005), "Emerging neurophysiological specialization for letter strings", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(10): 1532-1552.
- Maurer, U., S. Brem, F. Kranz, K. Bucher, R. Benz, P. Halder, H. C. Steinhausen y D. Brandeis (2006), "Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read", *Neuroimage*, 33(2): 749-758.
- Maurer, U., K. Bucher, S. Brem y D. Brandeis (2003), "Altered responses to tone and phoneme mismatch in kindergartners at familial dyslexia risk", *NeuroReport*, 14(17): 2245-2250.
- Mayall, K., G. W. Humphreys, A. Mechelli, A. Olson y C. J. C. Price (2001), "The effects of case mixing on word recognition: evidence from a PET study", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6): 844-853.
- Mayall, K., G. W. Humphreys y A. Olson (1997), "Disruption to word or letter processing? The origins of case-mixing effects", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(5): 1275-1286.
- Mazoyer, B. M., S. Dehaene, N. Tzourio, V. Frak, A. Syrota, M. Murayama, O. Levrier, G. Salamon, L. Cohen y J. Mehler (1993), "The cortical representation of speech", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5: 467-479.

- McCandliss, B. D., L. Cohen y S. Dehaene (2003), "The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus", *Trends in Cognitive Sciences*, 7: 293-299.
- McCandliss, B. D., T. Curran y M. I. Posner (1993), "Repetition effects in processing visual words: A high density ERP study of lateralized stimuli", *Neuroscience Abstracts*, 19: 1807.
- McCarthy, R. A. y E. K. Warrington (1990), *Cognitive neuropsychology: A clinical introduction*, San Diego, Academic Press.
- McClelland, J. L. y D. E. Rumelhart (1981), "An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings", *Psychological Review*, 88: 375-407.
- McCloskey, M. y B. Rapp (2000), "A visually based developmental reading deficit", *Journal of Memory and Language*, 43: 157-181.
- McCloskey, M., B. Rapp, S. Yantis, G. Rubin, W. Bacon, G. Dagniele, B. Gordon, D. Aliminoso, D. F. Boatman, W. Badecker, D. N. Johnson, R. J. Tusa y E. Palmer (1995), "A developmental deficit in localizing objects from vision", *Psychological Science*, 6: 112-117.
- McConkie, G. W. y K. Rayner (1975), "The span of the effective stimulus during a fixation in reading", *Perception and Psychophysics*, 17: 578-586.
- McConkie, G. W. y D. Zola (1979), "Is visual information integrated across successive fixations in reading?", *Perception and Psychophysics*, 25(3): 221-224.
- McCrory, E. J., A. Mechelli, U. Frith y C. J. Price (2005), "More than words: A common neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia?", *Brain*, 128 (part 2): 261-267.
- McMonnies, C. W. (1992), "Visuo-spatial discrimination and mirror image letter reversals in reading", *Journal of the American Optometric Association*, 63(10): 698-704.
- Mechelli, A., M. L. Gorno-Tempini y C. J. Price (2003), "Neuroimaging studies of word and pseudoword reading: consistencies, inconsistencies, and limitations", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(2): 260-271.

- Mehler, J., P. Jusczyk, G. Lambertz, N. Halsted, J. Bertoincini y C. Amieï-Tison (1988), "A precursor of language acquisition in young infants", *Cognition*, 29: 143-178.
- Mello, N. K. (1965), "Interhemispheric reversal of mirror-image oblique lines following monocular training in pigeons", *Science*, 148: 252-254.
- (1966), "Interocular generalization: A study of mirror-image reversal following monocular discrimination training in the pigeon", *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 9(1): 11-16.
- (1967), "Inter-hemispheric comparison of visual stimuli in the pigeon", *Nature*, 214(84): 144-145.
- Meng, H., S. D. Smith, K. Hager, M. Heid, J. Liu, R. K. Olson, B. F. Pennington, J. C. DeFries, J. Gelernter, T. O'Reilly-Pol, S. Somlo, P. Skudlarski, S. E. Shaywitz, B. A. Shaywitz, K. Marchione, Y. Wang, M. Paramasivam, J. J. LoTurco, G. P. Page, J. R. Gruen (2005), "DCDC2 is associated with reading disability and modulates neuronal development in the brain", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(47): 17 053-17 058.
- Merzenich, M. M., W. M. Jenkins, P. Johnston, C. Schreiner, S. L. Miier y P. Tallal (1996), "Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training", *Science*, 271(5245): 77-81.
- Miozzo, M. y A. Caramazza (1998), "Varieties of pure alexia: The case of failure to access graphemic representations", *Cognitive Neuropsychology*, 15: 203-238.
- Mishkin, M. y K. H. Pribram (1954), "Visual discrimination performance following partial ablations of the temporal lobe, I. Ventral vs. lateral", *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 47(1): 14-20.
- Mithen, S. (1996), *The prehistory of the mind: The cognitive origins of art, religion and science*, Londres, Thames & Hudson. [Ed. cast.: *Arqueología de la mente: orígenes del arte, la religión y la ciencia*, Barcelona, Crítica-Grijalbo Mondadori, 1998.]
- Miyashita, Y. (1988), "Neuronal correlate of visual associative long-term memory in the primate temporal cortex", *Nature*, 335(6193): 817-820.

- Molko, N., L. Cohen, J.-F. Mangin, F. Chochon, S. Lehéricy, D. Le Bihan y S. Dehaene (2002), "Visualizing the neural basis of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14: 629-636.
- Mondloch, C. J. y D. Maurer (2004), "Do small white balls squeak? Pitch-object correspondences in young children", *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 4(2): 133-136.
- Montant, M. y M. Behrmann (2000), "Pure alexia", *Neurocase*, 6: 265-294.
- Morais, J., P. Bertelson, L. Cary y J. Alegría (1986), "Literacy training and speech segmentation", *Cognition*, 24: 45-64.
- Morais, J., L. Cary, J. Alegría y P. Bertelson (1979), "Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously?", *Cognition*, 7: 323-331.
- Morrison, R. E. y K. Rayner (1981), "Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle", *Perception and Psychophysics*, 30(4): 395-396.
- Mozer, M. C. (1987), "Early parallel processing in reading: A connectionist approach", en M. Coltheart (comp.), *Attention and performance XII: The psychology of reading*, Hillsdale, Erlbaum, pp. 83-104.
- Näätänen, R., A. A. Lehtokoski, M. Lennes, M. Cheour, M. Huotilainen, A. Iivonen, M. Vainio, P. Alku, R. J. Ilmoniemi, A. Luuk, J. Allik, J. Sinkkonen y K. Alho (1997), "Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses", *Nature*, 385(6615): 432-434.
- Naccache, L. y S. Dehaene (2001), "The priming method: Imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes", *Cerebral Cortex*, 11(10): 966-974.
- Naccache, L., R. Gaillard, C. Adam, D. Hasboun, S. Clémenceau, M. Baulac y L. Cohen (2005), "A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 7713-7717.
- Nakamura, K., S. Dehaene, A. Jobert, D. Le Bihan y S. Kouider (2005), "Subliminal convergence of Kanji and Kana words: Further evidence for functional parcellation of the posterior temporal cortex

- in visual word perception", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6): 954-968.
- Nakamura, K., M. Honda, T. Okada, T. Hanakawa, K. Toma, H. Fukuyama, J. Konishi y H. Shibasaki (2000), "Participation of the left posterior inferior temporal cortex in writing and mental recall of Kanji orthography: A functional MRI study", *Brain*, 123 (part 5): 954-967.
- Nation, K., R. Alien y C. Hulme (2001), "The limitations of orthographic analogy in early reading development: Performance on the clue-word task depends on phonological priming and elementary decoding skill, not the use of orthographic analogy", *Journal of Experimental Child Psychology*, 80(1): 75-94.
- National Institute of Child Health and Human Development (2000), *Report of the National Reading Panel. Teaching children to read: An evidence-based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction (NIH Publication n° 00-4769)*, Washington, DC, U.S. Government Printing Office.
- Nazir, T. A., N. Ben-Boutayab, N. Decoppet, A. Deutsch y R. Frost (2004), "Reading habits, perceptual learning, and recognition of printed words", *Brain and Language*, 88(2): 294-311.
- Nicolson, R. I., A. J. Fawcett y P. Dean (2001), "Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis", *Trends in Neurosciences*, 24(9): 508-511.
- Nieder, A., I. Diester y O. Tudusciuc (2006), "Temporal and spatial enumeration processes in the primate parietal cortex", *Science*, 313(5792): 1431-1435.
- Nieder, A. y E. K. Miller (2004), "A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(19): 7457-7462.
- Nimchinsky, E. A., E. Gilissen, J. M. Allman, D. P. Perl, J. M. Erwin y P. R. Hof (1999), "A neuronal morphologic type unique to humans and great apes", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(9): 5268-5273.
- Niogi, S. N. y B. D. McCandliss (2006), "Left lateralized white matter microstructure accounts for individual differences in reading ability and disability", *Neuropsychologia*, 44(11): 2178-2188.

- Nobre, A. C., T. Allison y G. McCarthy (1994), "Word recognition in the human inferior temporal lobe", *Nature*, 372(6503): 260-263.
- Núñez, R. E. y G. Lakoff (2000), *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*, Nueva York, Basic Books.
- Olavarría, J. F. y R. Hiroi (2003), "Retinal influences specify cortico-cortical maps by postnatal day six in rats and mice", *Journal of Comparative Neurology*, 459(2): 156-172.
- O'Regan, J. K. (1990), "Eye movements and reading", *Reviews of Oculomotor Research*, 4: 395-453.
- Orton, S. T. (1925), "'Word-blindness' in school children", *Archives of Neurology and Psychiatry*, 14: 581-615.
- (1937), *Reading, writing, and speech problems in children*, Nueva York, Norton.
- Paap, J. R., S. L. Newsome y R. W. Noel (1984), "Word shape's in poor shape for the race to the lexicon", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(3): 413-428.
- Pacton, S., P. Perruchet, M. Fayol, A. Cleeremans (2001), "Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities", *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(3): 401-426.
- Pammer, K., P. C. Hansen, M. L. Kringelbach, I. Holliday, G. Barnes, A. Hillebrand, K. D. Singh y P. L. Cornelissen (2004), "Visual word recognition: The first half second", *Neuroimage*, 22(4): 1819-1825.
- Paracchini, S., A. Thomas, S. Castro, C. Lai, M. Paramasivam, Y. Wang, B. J. Keating, J. M. Taylor, D. F. Hacking, T. Scerry, C. Francks, A. J. Richardson, R. Wade-Martins, J. F. Stein, J. C. Knight, A. J. Copp, J. LoTurco y A. P. Monaco (2006), "The chromosome 6p22 haplotype associated with dyslexia reduces the expression of KIAA0319, a novel gene involved in neuronal migration", *Human Molecular Genetics*, 15(10): 1659-1666.
- Parvainen, T., P. Helenius, E. Poskiparta, P. Niemi y R. Salmelin (2006), "Cortical sequence of word perception in beginning readers", *Journal of Neuroscience*, 26(22): 6052-6061.
- Pascalis, O., M. M. de Haan y C. A. Nelson (2002), "Is face processing species-specific during the first year of life?", *Science*, 296(5571): 1321-1323.

- Pascalis, O., S. de Schonen (1994), "Recognition memory in 3- to 4-day-old human neonates", *NeuroReport*, 5(14): 1721-1724.
- Pascalis, O., L. S. Scott, D. J. Kelly, R. W. Shannon, E. Nicholson, M. Coleman y C. A. Nelson (2005), "Plasticity of face processing in infancy", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(14): 5297-5300.
- Patterson, K. y J. Kay (1982), "Letter-by-letter reading: Psychological descriptions of a neurological syndrome", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 34: 411-441.
- Paulesu, E., J.-F. Demonet, F. Fazio, E. McCrory, V. Chanoine, N. Brunswick, S. Francesco, G. Cossu, M. Habib, C. D. Frith y U. Frith (2001), "Dyslexia: cultural diversity and biological unity", *Science*, 291(5511): 2165-2167.
- Paulesu, E., C. D. Frith y R. S. J. Frackowiak (1993), "The neural correlates of the verbal component of working memory", *Nature*, 362: 342-345.
- Paulesu, E., U. Frith, M. Snowling, A. Gallagher, J. Morton, R. Frackowiak y C. D. Frith (1996), "Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning", *Brain*, 119: 143-157.
- Paulesu, E., E. McCrory, F. Fazio, L. Menoncello, N. Brunswick, S. F. Cappa, M. Cotelli, G. Cossu, F. Corte, M. Lorusso, S. Pesenti, A. Gallagher, D. Perani, C. Price, C. D. Frith y U. Frith (2000), "A cultural effect on brain function", *Nature Neuroscience*, 3(1): 91-96.
- Pelli, D. G., B. Farell y D. C. Moore (2003), "The remarkable inefficiency of word recognition", *Nature*, 423(6941): 752-756.
- Pena, M., A. Maki, D. Kovacic, G. Dehaene-Lamberg, H. Koizumi, F. Bouquet y J. Mehler (2003), "Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(20): 11 702-11 705.
- Perea, M. y S. J. Lupker (2003), "Does judge activate COURT? Transposed-letter similarity effects in masked associative priming", *Memory and Cognition*, 31(6): 829-841.
- Peressotti, F. y J. Grainger (1999), "The role of letter identity and letter position in orthographic priming", *Perception and Psychophysics*, 61(4): 691-706.

- Perfetti, C. A. y L. Bell (1991), "Phonemic activation during the first 40 ms of word identification: Evidence from backward masking and masked priming", *Journal of Memory and Language*, 30: 473-485.
- Perrett, D. I., A. J. Mistlin y A. J. Chitty (1989), "Visual neurons responsive to faces", *Trends in Neuroscience*, 10: 358-364.
- Perry, C., J. C. Ziegler y M. Zorzi (2007), "Nested incremental modeling in the development of computational theories: The CDP+ model of reading aloud", *Psychological Review*, 114(2): 273-315.
- Petersen, S. E., P. T. Fox, M. I. Posner, M. Mintum y M. E. Raichle (1988), "Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing", *Nature*, 331(6157): 585-589.
- (1989), "Positron emission tomographic studies of the processing of single words", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1: 153-170.
- Petersen, S. E., P. T. Fox, A. Z. Snyder y M. E. Raichle (1990), "Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimuli", *Science*, 249: 1041-1044.
- Petersson, K. M., C. Silva, A. Castro-Caldas, M. Ingvar y A. Reis (2007), "Literacy: A cultural influence of functional left-right differences in the inferior parietal cortex", *European Journal of Neuroscience*, 26(3): 791-799.
- Pflugshaupt, T., T. Nyffeler, R. von Wartburg, P. Wirtz, M. Luthi, D. Hubl, K. Gutbrod, F. D. Juengling, C. W. Hess y R. M. Muri (2007), "When left becomes right and vice versa: Mirrored vision after cerebral hypoopia", *Neuropsychologia*, 45(9): 2078-2091.
- Pica, P., C. Lemer, V. Izar y S. Dehaene (2004), "Exact and approximate arithmetic in an Amazonian Indigene group", *Science*, 306(5695): 499-503.
- Pinel, P., S. Dehaene, D. Rivière y D. Le Bihan (2001), "Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task", *Neuroimage*, 14(5): 1013-1026.
- Pinker, S. (2002), *The blank slate: The modern denial of human nature*, Londres, Penguin. [Ed. cast.: *La tabla rasa: la negación moderna de la naturaleza humana*, Barcelona, Paidós Ibérica, 2003.]
- Plaut, D. C., J. L. McClelland, M. S. Seidenberg y K. Patterson (1996), "Understanding normal and impaired word reading:

- computational principles in quasi-regular domains", *Psychological review*, 103(1): 56-115.
- Polk, T. A. y M. J. Farah (2002), "Functional MRI evidence for an abstract, non perceptual word form area", *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(1): 65-72.
- Polk, T. A., M. Stallcup, G. K. Aguirre, D. C. Alsop, M. D'Esposito, J. A. Detre y M. J. Farah (2002), "Neural specialization for letter recognition", *Journal of Cognitive Neuroscience* 14(2): 145-159.
- Pollatsek, A., S. Bolozky, A. D. Well y K. Rayner (1981), "Asymmetries in the perceptual span for Israeli readers", *Brain and Language*, 14(1): 174-180.
- Posner, M. I. y B. D. McCandliss (1999), "Brain circuitry during reading", en R. M. Klein y P. A. McMullen, *Converging methods for understanding reading and dyslexia*, Cambridge, MIT Press: 305-337.
- Posner, M. I., S. E. Petersen, P. T. Fox y M. E. Raichle (1988), "Localization of cognitive operations in the human brain", *Science*, 240: 1627-1631.
- Pouratian, N., S. Y. Bookheimer, G. Rubino, N. A. Martin y A. W. Toga (2003), "Category-specific naming deficit identified by intraoperative stimulation mapping and postoperative neuropsychological testing: Case report", *Journal of Neurosurgery*, 99(1): 170-176.
- Price, C. (1998), "The functional anatomy of word comprehension and production", *Trends in Cognitive Sciences*, 2: 281-288.
- Price, C. J. y J. T. Devlin (2003), "The myth of the visual word form area", *Neuroimage*, 19: 473-481.
- Price, C. J., M. L. Gorno-Tempini, K. S. Graham, N. Biggio, A. Mechell, K. Patterson y U. Noppeney (2003), "Normal and pathological reading: Converging data from lesion and imaging studies", *Neuroimage*, 20(supl. 1): S30-41.
- Price, C. J., C. J. Moore, G. W. Humphreys y R. J. S. Wise (1997), "Segregating semantic from phonological processes during reading", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9: 727-733.
- Price, C. J., R. J. S. Wise y R. S. J. Frackowiak (1996), "Demonstrating the implicit processing of visually presented words and pseudowords", *Cerebral Cortex*, 6: 62-70.

- Priftis, K., E. Rusconi, C. Umiltà y M. Zorzi (2003), "Pure agnosia for mirror stimuli after right inferior parietal lesion", *Brain*, 126 (part 4): 908-919.
- Prinzmetal, W. (1990), "Neon colors illuminate reading units", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3): 584-597.
- Prinzmetal, W., R. Treiman y S. H. Rho (1986), "How to see a reading unit", *Journal of Memory and Language*, 25: 461-475.
- Puce, A., T. Allison, M. Asgari, J. C. Gore y G. McCarthy (1996), "Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: A functional magnetic resonance imaging study", *Journal of Neuroscience*, 16: 5205-5215.
- Pugh, K. R., B. A. Shaywitz, S. E. Shaywitz, R. T. Constable, P. Skudlarski, R. K. Fullbright, R. A. Bronen, D. P. Shankweiler, L. Katz, J. M. Fletcher y J. C. Gore (1996), "Cerebral organization of component processes in reading", *Brain*, 119 (part 4): 1221-1238.
- Pulvermüller, F. (2005), "Brain mechanisms linking language and action", *Nature Reviews Neuroscience*, 6(7): 576-582.
- Quartz, S. R. y T. J. Sejnowski (1997), "The neural basis of cognitive development: A constructivist manifesto", *Behavioral and Brain Sciences*, 20(4): 537-556; discusión, 556-596.
- Quiroga, R. Q., L. Reddy, G. Kreiman, C. Koch e I. Fried (2005), "Invariant visual representation by single neurons in the human brain", *Nature*, 435(7045): 1102-1107.
- Raichle, M. E., A. M. MacLeod, A. Z. Snyder, W. J. Powers, D. A. Gusnard y G. L. Shulman (2001), "A default mode of brain function", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2): 676-682.
- Raij, T., K. Uutela y R. Hari (2000), "Audiovisual integration of letters in the human brain", *Neuron*, 28(2): 617-625.
- Ramachandran, V. S. (2005), *The artful brain*, Nueva York, Fourth Estate.
- Ramachandran, V. S. y E. M. Hubbard (2001a), "Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268(1470): 979-983.

- (2001b), "Sinaesthesia: A window into perception, thought and language", *Journal of Consciousness Studies*, 8: 3-34.
- Ramus, F. (2003), "Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction?", *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2): 212-218.
- (2004), "Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data", *Trends in Neurosciences*, 27(12): 720-726.
- Ramus, F., E. Pidgeon y U. Frith (2003), "The relationship between motor control and phonology in dyslexic children", *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44(5): 712-722.
- Ramus, F., S. Rosen, S. C. Dakin, B. L. Day, J. M. Castellote, S. White y U. Frith (2003), "Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults", *Brain*, 123 (part 4): 841-865.
- Rastle, K., M. H. Davis, W. D. Marslen-Wilson y L. K. Tyler (2000), "Morphological and semantic effects in visual word recognition: A time-course study", *Language and Cognitive Processes*, 15: 507-537.
- Rayner, K. (1998), "Eye movements in reading and information processing: 20 years of research", *Psychological Bulletin*, 124(3): 372-422.
- Rayner, K. y J. H. Bertera (1979), "Reading without a fovea", *Science*, 206(4417): 468-469.
- Rayner, K., B. R. Foorman, C. A. Perfetti, D. Pesetsky y M. S. Seidenberg (2001), "How psychological science informs the teaching of reading", *Psychological Science*, 2: 31-74.
- Rayner, K., A. W. Inhoff, R. E. Morrison, M. L. Slowiaczek y J. H. Bertera (1981), "Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7(1): 167-179.
- Rayner, K., G. W. McConkie y D. Zola (1980), "Integrating information across eye movements", *Cognitive Psychology*, 12(2): 206-226.
- Rayner, K. y A. Pollatsek (1989), *The psychology of reading*, Glenwood Cliffs, Prentice Hall.

- Rayner, K., A. D. Well y A. Pollatsek (1980), "Assymetry of the effective visual field in reading", *Perception and Psychophysics*, 27(6): 537-544.
- Read, C., Y. F. Zhang, H. Y. Nie y B. Q. Ding (1986), "The ability to manipulate speech sounds depends on knowing alphabetic writing", *Cognition*, 24(1-2): 31-44.
- Reicher, G. M. (1969), "Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material", *Journal of Experimental Psychology*, 81: 274-280.
- Rey, A., A. M. Jacobs, F. Schmidt-Weigand y J. C. Ziegler (1998), "A phoneme effect in visual word recognition", *Cognition*, 68(3): B71-80.
- Rey, A., J. C. Ziegler y A. M. Jacobs (2000), "Graphemes are perceptual reading units", *Cognition*, 75(1): B1-12.
- Richardson, U., P. H. Leppanen, M. Leiwo y H. Lytinen (2003), "Speech perception of infants with high familial risk for dyslexia differ at the age of 6 months", *Developmental Neuropsychology*, 23(3): 385-397.
- Riddoch, M. J. y G. W. Humphreys (1988), "Description of a left-right coding deficit in a case of constructional apraxia", *Cognitive Neuropsychology*, 5: 289-315.
- Riesenhuber, M. y T. Poggio (1999), "Hierarchical models of object recognition in cortex", *Nature Neuroscience*, 2: 1019-1025.
- Rissman, J., J. C. Eliassen y S. E. Blumstein (2003), "An event-related fMRI investigation of implicit semantic priming", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(8): 1160-1175.
- Robertson, L. C. y M. R. Lamb (1991), "Neuropsychological contributions to theories of part/whole organization", *Cognitive Psychology*, 23(2): 299-330.
- Robinson, A. J. y O. Pascalis (2004), "Development of flexible visual recognition memory in human infants", *Developmental Science*, 7(5): 527-533.
- Rodd, J. M., M. H. Davis e I. S. Johnsrude (2005), "The neural mechanisms of speech comprehension: fMRI studies of semantic ambiguity", *Cerebral Cortex*, 15(8): 1261-1269.

- Rodman, H. R., S. P. O. Scalaidhe y C. G. Gross (1993), "Response properties of neurons in temporal cortical visual areas of infant monkeys", *Journal of Neurophysiology*, 70: 1115-1136.
- Rollenhagen, J. E. y C. R. Olson (2000), "Mirror-image confusion in single neurons of the macaque inferotemporal cortex", *Science*, 287(5457): 1506-1508.
- Rolls, E. T. (2000), "Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant visual object and face recognition", *Neuron*, 27(2): 205-218.
- Rossion, B. y M. J. Tarr (2004), "Visual expertise with nonface objects leads to competition with the early perceptual processing of faces in the human occipito-temporal cortex", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(40): 14 521-14 526.
- Rubenstein, H., S. S. Lewis y M. Rubenstein (1971), "Evidence for phonemic coding in visual word recognition", *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 10: 645-657.
- Rubin, G. S. y K. Turano (1992), "Reading without saccadic eye movements", *Vision Research*, 32(5): 895-902.
- Rumelhart, D. E. y J. L. McClelland (1982), "An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 2. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model", *Psychological Review*, 89(1): 60-94.
- Saffran, J. R., R. N. Aslin y E. L. Newport (1996), "Statistical learning by 8-month-old infants", *Science*, 274(5294): 1926-1928.
- Sakai, K. y Y. Miyashita (1991), "Neural organization for the long-term memory of paired associates", *Nature*, 354(6349): 152-155.
- Sakurai, Y., Y. Ichikawa y T. Mannen (2001), "Pure alexia from a posterior occipital lesion", *Neurology*, 56(6): 778-781.
- Sakurai, Y., T. Momose, M. Iwata, Y. Sudo, K. Ohtomo e I. Kanazawa (2000), "Different cortical activity in reading of Kanji words, Kana words and Kana nonwords", *Brain Research Cognitive Brain Research*, 9(1): 111-115.
- Sakurai, Y., S. Takeuchi, T. Takada, E. Horiuchi, H. Nakase y M. Sakuta (2000), "Alexia caused by a fusiform or posterior inferior temporal lesion", *Journal of the Neurological Sciences*, 178(1): 42-51.

- Salmelin, R., E. Service, P. Kiesila, K. Uutela y O. Salonen (1996), "Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography", *Annals of Neurology*, 40(2): 157-162.
- Sary, G., R. Vogels y G. A. Orban (1993), "Cue-invariant shape selectivity of macaque inferior temporal neurons", *Science*, 260(5110): 995-997.
- Sasaki, Y., W. Vanduffel, T. Knotsen, C. Tyler y R. Tootell (2005), "Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(8): 3159-3163.
- Sasanuma, S. (1975), "Kana and Kanji processing in Japanese aphasics", *Brain and Language*, 2(3): 369-383.
- Schmandt-Besserat, D. (1996), *How writing came about*, Austin, University of Texas Press.
- Schoenemann, P. T., M. J. Sheehan y L. D. Glotzer (2005), "Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates", *Nature Neuroscience*, 8(2): 242-252.
- Schoonbaert, S. y J. Grainger (2004), "Letter position coding in printed word perception: Effects of repeated and transposed letters", *Language and Cognitive Processes*, 19: 333-367.
- Schwartz, E. L., R. Desimone, T. D. Albright y C. G. Gross (1983), "Shape recognition and inferior temporal neurons", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80(18): 5776-5778.
- Seguí, J. y J. Grainger (1990), "Priming word recognition with orthographic neighbors: Effects of relative prime-target frequency", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(1): 65-76.
- Seidenberg, M. S. y J. L. McClelland (1989), "A distributed, developmental model of word recognition and naming", *Psychological Review*, 96(4): 523-568.
- Seidenberg, M. S., A. Petersen, M. C. MacDonald y D. C. Plaut (1996), "Pseudohomophone effects and models of word recognition", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22: 48-62.
- Seidenberg, M. S., M. K. Tanenhaus, J. M. Leiman y M. Bienkowski (1982), "Automatic access of the meanings of ambiguous words

- in context: Some limitations of knowledge-based processing", *Cognitive Psychology*, 14: 489-537.
- Selfridge, O. G. (1959), "Pandemonium: A paradigm for learning", en D. V. Blake y A. M. Uttley (comps.), *Proceedings of the Symposium on Mechanisation of Thought Processes*, Londres, H. M. Stationery Office, pp. 511-529.
- Sere, B., C. Marendaz y J. Herault (2000), "Nonhomogeneous resolution of images of natural scenes", *Perception*, 29(12): 1403-1412.
- Seymour, P. H., M. Aro y J. M. Erskine (2003), "Foundation literacy acquisition in European orthographies", *British Journal of Psychology*, 94 (part 2): 143-174.
- Shallice, T. (1988), *From neuropsychology to mental structure*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Share, D. L. (1995), "Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition", *Cognition*, 55(2): 151-218; discusión, 219-226.
- (1999), "Phonological recoding and orthographic learning: A direct test of the self-teaching hypothesis", *Journal of Experimental Child Psychology*, 72(2): 95-129.
- Shaywitz, B. A., S. E. Shaywitz, K. R. Pugh, W. E. Mencl, R. K. Fullbright, P. Skudlarski, R. T. Constable, K. E. Marchione, J. M. Fletcher, G. R. Lyon y J. C. Gore (2002), "Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia", *Biological Psychiatry*, 52(2): 101-110.
- Shaywitz, S. E. (2003), *Overcoming dyslexia*, Nueva York, Random House.
- Shaywitz, S. E., M. D. Escobar, B. A. Shaywitz, J. M. Fletcher y R. Makuch (1992), "Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability", *New England Journal of Medicine*, 326(3): 145-150.
- Shaywitz, S. E., B. A. Shaywitz, K. R. Pugh, R. K. Fullbright, R. T. Constable, W. E. Mencl, D. P. Shankweiler, A. M. Liberman, P. Skudlarski, J. M. Fletcher, L. Katz, K. E. Marchione, C. Lacadie, C. Gatenby y J. C. Gore (1998), "Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(5): 2636-2641.

- Shelton, J. R., E. Fouch y A. Caramazza (1998), "The selective sparing of body part knowledge: A case study", *Neurocase*, 4: 339-351.
- Shuwairi, S. M., M. K. Albert y S. P. Johnson (2007), "Discrimination of possible and impossible objects in infancy", *Psychological Science*, 18(4): 303-307.
- Sigman, M. y C. D. Gilbert (2000), "Learning to find a shape", *Nature Neuroscience*, 3(3): 264-269.
- Sigman, M., H. Pan, Y. Yang, E. Stern, D. Silbersweig y C. D. Gilbert (2005), "Top-down reorganization of activity in the visual pathway after learning a shape identification task", *Neuron*, 46(5): 823-835.
- Silani, G., U. Frith, J.-F. Demonet, F. Fazio, D. Perani, C. Price, C. D. Frith y E. Paulesu (2005), "Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study", *Brain*, 128 (part 10): 2453-2461.
- Simon, O., J.-F. Mangin, L. Cohen, D. Le Bihan y S. Dehaene (2002), "Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe", *Neuron*, 33(3): 475-487.
- Simos, P. G., J. I. Breier, J. M. Fletcher, E. Berghman y A. C. Papanicolaou (2000), "Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: A magnetic source imaging approach", *Cerebral Cortex*, 10(8): 809-816.
- Simos, P. G., J. I. Breier, J. M. Fletcher, B. R. Foorman, E. M. Castillo, A. C. Papanicolaou (2002), "Brain mechanisms for reading words and pseudowords: An integrated approach", *Cerebral Cortex*, 12(3): 297-305.
- Simos, P. G., J. I. Breier, J. M. Fletcher, B. R. Foorman, A. Mouzaki y A. C. Papanicolaou (2001), "Age-related changes in regional brain activation during phonological decoding and printed word recognition", *Developmental Neuropsychology*, 19(2): 191-210.
- Simos, P. G., J. M. Fletcher, E. Bergman, J. I. Breier, B. R. Foorman, E. M. Castillo, R. N. Davis, M. Fitzgerald y A. C. Papanicolaou (2002), "Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training", *Neurology*, 58(8): 1203-1213.

- Siok, W. T., C. A. Perfetti, Z. Jin, L. H. Tan (2004), "Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture", *Nature*, 431(7004): 71-76.
- Smith, L. B. (2003), "Learning to recognize objects", *Psychological Science*, 14(3): 244-250.
- Son, J. Y., L. B. Smith y R. L. Goldstone (2008), "Simplicity and generalization: Shortcutting abstraction in children's object categorizations", *Cognition*, 108(3): 626-638.
- Southgate, V., G. Csibra, J. Kaufman y M. H. Johnson (2008), "Distinct processing of objects and faces in the infant brain", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4): 741-749.
- Sperber, D. (1974), "Contre certaines a priori anthropologiques", en E. Morin y M. Piatelli-Palmarini (comps.), *L'unité de l'homme: Invariants biologiques et universaux culturels*, Paris, Seuil, pp. 491-512.
- (1996), *Explaining culture: A naturalistic approach*, Londres, Blackwell.
- Sperber, D. y L. A. Hirschfeld (2004), "The cognitive foundations of cultural stability and diversity", *Trends in Cognitive Sciences*, 8: 40-46.
- Sperling, J. M., D. Prvulovic, D. E. Linden, W. Singer y A. Stirn (2006), "Neuronal correlates of colour-graphemic synaesthesia: an fMRI study", *Cortex*, 42(2): 295-303.
- Spoehr, K. T. y E. E. Smith (1975), "The role of orthographic and phonotactic rules in perceiving letter patterns", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 104(1): 21-34.
- Sprenger-Charolles, L. y L. Siegel (1997), "A longitudinal study of the effects of syllabic structure on the development of reading and spelling skills in French", *Applied Psycholinguistics*, 18: 485-505.
- Sprenger-Charolles, L., L. S. Siegel y P. Bonnet (1998), "Reading and spelling acquisition in French: The role of phonological mediation and orthographic factors", *Journal of Experimental Child Psychology*, 68(2): 134-165.
- Stein, J. (2001), "The magnocellular theory of developmental dyslexia", *Dyslexia*, 7(1): 12-36.

- Streifler, M. y S. Hofman (1976), "Sinistral mirror writing and reading after brain concussion in a bi-systemic (oriento-occidental) polyglot", *Cortex*, 12: 356-364.
- Stuart, M. (1990), "Processing strategies in a phoneme deletion task", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 42: 305-327.
- Swinney, D. A., W. Onifer, P. Prather y M. Hirshkowitz (1979), "Semantic facilitation across sensory modalities in the processing of individual words and sentences", *Memory and Cognition*, 7(3): 159-165.
- Taft, M. (1994), "Interactive activation as a framework for understanding morphological processing", *Language and Cognitive Processes*, 9: 271-294.
- Tagamets, M. A., J. M. Novick, M. L. Chalmers y R. B. Friedman (2000), "A parametric approach to orthographic processing in the brain: An fMRI study", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(2): 281-297.
- Tallal, P. y N. Gaab (2006), "Dynamic auditory processing, musical experience and language development", *Trends in Neurosciences*, 29(7): 382-390.
- Tamura, H. y K. Tanaka (2001), "Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macaque inferotemporal cortex", *Cerebral Cortex*, 11(5): 384-399.
- Tan, L. H., H. L. Liu, C. A. Perfetti, J. A. Spinks, P. T. Fox y J. H. Gao (2001), "The neural system underlying Chinese logograph reading", *Neuroimage*, 13(5): 836-846.
- Tan, L. H., J. A. Spinks, J. H. Gao, H. L. Liu, C. A. Perfetti, J. Xiong, K. A. Stofer, Y. Pu, Y. Liu y P. T. Fox (2000), "Brain activation in the processing of Chinese characters and words: A functional MRI study", *Human Brain Mapping*, 10(1): 16-27.
- Tanaka, K. (1996), "Inferotemporal cortex and object vision", *Annual Review of Neuroscience*, 19: 109-139.
- (2003), "Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: Clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities", *Cerebral Cortex*, 13(1): 90-99.

- Tanaka, M., M. Tomonaga y T. Matsuzawa (2003), "Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*)", *Animal Cognition*, 6(4): 245-251.
- Tarkiainen, A., P. L. Corneissen y R. Salmelin (2002), "Dynamics of visual feature analysis and object-level processing in face versus letter-string perception", *Brain*, 125 (part 5): 1125-1136.
- Tarkiainen, A., P. Helenius, P. C. Hansen, P. L. Corneissen y R. Salmelin (1999), "Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex", *Brain*, 122 (part 11): 2119-2132.
- Tarr, M. J. e I. Gauthier (2000), "FFA: A flexible fusiform area for subordinate-level visual processing automatized by expertise", *Nature Neuroscience*, 3(8): 764-769.
- Tarr, M. J. y S. Pinker (1989), "Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition", *Cognitive Psychology*, 21(2): 233-282.
- Temple, E., G. K. Deutsch, R. A. Poldrack, S. L. Miller, P. Tallal, M. M. Merzenich y J. D. Gabrieli (2003), "Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5): 2860-2865.
- Temple, E., R. A. Poldrack, A. Protopapas, S. Nagarajan, T. Salz, P. Tallal, M. M. Merzenich y J. D. Gabrieli (2000), "Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: Evidence from functional MRI", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25): 13 907-13 912.
- Temple, E., R. A. Poldrack, J. Salidis, G. K. Deutsch, P. Tallal, M. M. Merzenich y J. D. Gabrieli (2001), "Disrupted neural response to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study", *NeuroReport*, 12(2): 299-307.
- Terepocki, M., R. S. Kruk y D. M. Willows (2002), "The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability", *Journal of Learning Disabilities*, 35(3): 214-233.
- Thompson-Schill, S. L., M. D'Esposito e I. P. Kan (1999), "Effects of repetition and competition on activity in left prefrontal cortex during word generation", *Neuron*, 23(3): 520-522.

- Thorpe, S., D. Fize y C. Marlot (1996), "Speed of processing in the human visual system", *Nature*, 381(6582): 520-522.
- Tokunaga, H., T. Nishikawa, Y. Ikejiri, Y. Nakagawa, F. Yasuno, K. Hashikawa, T. Nishimura, Y. Sugita y M. Takeda (1999), "Different neural substrates for Kanji and Kana writing: a PET study", *NeuroReport*, 10(16): 3315-3319.
- Tomasello, M. (2000a), *The cultural origins of human cognition*, Cambridge, Harvard University Press. [Ed. cast.: *Los orígenes culturales de la cognición humana*, Buenos Aires, Amorrurtu, 2007.]
- (2000b), "Culture and cognitive development", *Current Directions in Psychological Science*, 9: 37-40.
- Tomasello, M., M. Carpenter, J. Cali, T. Behne y H. Moll (2005), "Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition", *Behavioral and Brain Sciences*, 28(5): 675-691; discusión, 691-735.
- Tomasello, M., R. Strosberg y N. Akhtar (1996), "Eighteen-month-old children learn words in non-ostensive contexts", *Journal of Child Language*, 23(1): 157-176.
- Torgesen, J. K. (2005), "Recent discoveries on remedial interventions for children with dyslexia", en M. Snowling y C. Hulme (comps.), *The science of reading: A handbook*, Óxford, Blackwell: 521-537.
- Tsao, D. Y., W. A. Freiwald, R. B. Tootell y M. S. Livingstone (2006), "A cortical region consisting entirely of face-selective cells", *Science*, 311(5761): 670-674.
- Tsunoda, K., Y. Yamane, M. Nishizaki y M. Tanifuji (2001), "Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns", *Nature Neuroscience*, 4(8): 832-838.
- Turing, A. M. (1952), "The chemical basis of morphogenesis", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 237: 37-72.
- Turkeltaub, P. E., D. L. Flowers, A. Verbalis, M. Miranda, L. Gareau y G. F. Eden (2004), "The neural basis of hyperlexic reading: an fMRI case study", *Neuron*, 41(1): 11-25.

- Turkeltaub, P. E., L. Gareau, D. L. Flowers, T. A. Zeffiro y G. F. Eden (2003), "Development of neural mechanisms for reading", *Nature Neuroscience*, 6(7): 767-773.
- Turnbull, O. H. (1997), "A double dissociation between knowledge of object identity and object orientation", *Neuropsychologia*, 35: 567-570.
- Turnbull, O. H., N. Beschin y S. Della Sala (1997), "Agnosia for object orientation: Implications for theories of object recognition", *Neuropsychologia*, 35(2): 153-163.
- Turnbull, O. H. y R. A. McCarthy (1996), "Failure to discriminate between mirror-image objects: A case of viewpoint-independent object recognition?", *Neurocase*, 2: 63-72.
- Tzourio-Mazoyer, N., S. De Schonen, F. Crivello, B. Reutter, Y. Aujard y B. Mazoyer (2002), "Neural correlates of woman face processing by 2-month-old infants", *Neuroimage*, 15(2): 454-461.
- Ungerleider, L. G. y M. Mishkin (1982), "Two cortical visual systems", en D. J. Ingle, M. A. Goodale y R. J. W. Mansfield (comps.), *Analysis of visual behavior*, Cambridge, MIT Press, pp. 549-586.
- Valdois, S., M.-L. Bosse y M.-J. Tainturier (2004), "The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder", *Dyslexia*, 10(4): 339-363.
- Van Atveldt, N., E. Formisano, R. Goebel y L. Blomert (2004), "Integration of letters and speech sounds in the human brain", *Neuron*, 43(2): 271-282.
- Vandenberghe, R., A. C. Nobre y C. J. Price (2002), "The response of left temporal cortex to sentences", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(4): 550-560.
- Vandenberghe, R., C. Price, R. Wise, O. Josephs y R. S. Frackowiak (1996), "Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures", *Nature*, 383(6597): 254-256.
- Van Essen, D. C., J. W. Lewis, H. A. Drury, N. Hadjikhani, R. B. Tootell, M. Bakircioglu y M. I. Miller (2001), "Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface-based atlases", *Vision Research*, 41(10-11): 1359-1378.

- Van Orden, G. C., J. C. Johnston y B. L. Hale (1988), "Word identification in reading proceeds from spelling to sound to meaning", *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(3): 371-386.
- VanRullen, R. y S. J. Thorpe (2002), "Surfing a spike wave down the ventral stream", *Vision Research*, 42(23): 2593-2615.
- Vellutino, F. R., J. M. Fletcher, M. J. Snowling y D. M. Scanlon (2004), "Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades?", *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(1): 2-40.
- Vinckenbosch, E., F. Robichon y S. Eliez (2005), "Gray matter alteration in dyslexia: Converging evidence from volumetric and voxel-by-voxel MRI analyses", *Neuropsychologia*, 43(3): 324-331.
- Vinckler, F., S. Dehaene, A. Jobert, J. Philippe Dubus, M. Sigman y L. Cohen (2007), "Hierarchical coding of letter strings in the ventral stream: Dissecting the inner organization of the visual word-form system", *Neuron*, 55(1): 143-156.
- Vinckler, F., L. Naccache, C. Papez, J. Forget, V. Hahn-Barma, S. Dehaene y L. Cohen (2006), "'What' and 'where' in word reading: Ventral coding of written words revealed by parietal atrophy", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(12): 1998-2012.
- Vogels, R. e I. Biederman (2002), "Effects of illumination intensity and direction on object coding in macaque inferior temporal cortex", *Cerebral Cortex*, 12(7): 756-766.
- Vogels, R., I. Biederman, M. Bar y A. Lorincz (2001), "Inferior temporal neurons show greater sensitivity to nonaccidental than to metric shape differences", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(4): 444-453.
- Vuilleumier, P., R. N. Henson, J. Driver y R. J. Dolan (2002), "Multiple levels of visual object constancy revealed by event-related fMRI of repetition priming", *Nature Neuroscience*, 5(5): 491-499.
- Wade, J. B. y R. P. Hart (1991), "Mirror phenomena in language and nonverbal activities—a case report", *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 13(2): 299-308.
- Wallin, N. L., B. Merker y S. Brown (2000), *The origins of music*, Cambridge, MIT Press.

- Walsh, V. y S. R. Butler (1996), "The effects of visual cortex lesions on the perception of rotated shapes", *Behavioral Brain Research*, 76(1-2): 127-142.
- Wang, S. H. y R. Baillargeon (2008), "Detecting impossible changes in infancy: a three-system account", *Trends in Cognitive Sciences*, 12(1): 17-23.
- Warrington, E. K. y J. Davidoff (2000), "Failure at object identification improves mirror image matching", *Neuropsychologia*, 38(9): 1229-1234.
- Warrington, E. K. y T. Shallice (1980), "Word-form dyslexia", *Brain*, 103: 99-112.
- (1984), "Category-specific semantic impairments", *Brain*, 107: 829-854.
- Washburn, D. A. y D. M. Rumbaugh (1991), "Ordinal judgements of numerical symbols by macaques (*Macaca mulatta*)", *Psychological Science*, 2: 190-193.
- Weekes, B. S. (1997), "Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency", *Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 50: 439-456.
- Weiskrantz, L. y R. C. Saunders (1984), "Impairments of visual object transforms in monkeys", *Brain*, 107 (part 4): 1033-1072.
- Werker, J. F. y R. C. Tees (1984), "Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life", *Infant Behavior and Development*, 7: 49-63.
- White, S., E. Milne, S. Rosen, P. Hansen, J. Swettenham, U. Frith y F. Ramus (2006), "The role of sensorimotor impairments in dyslexia: A multiple case study of dyslexic children", *Developmental Science*, 9(3): 237-255; discusión, 265-269.
- Whiten, A., J. Goodall, W. C. McGrew, T. Nishida, V. Reynolds, Y. Sugiyama, C. E. Tutin, R. W. Wrangham y C. Boesch (1999), "Cultures in chimpanzees", *Nature*, 399(6737): 682-685.
- Whitney, C. (2001), "How the brain encodes the order of letters in a printed word: The SERIOL model and selective literature review", *Psychonomic Bulletin and Review*, 8(2): 221-243.

- Wilson, A. J., S. Dehaene, P. Pinel, S. K. Revkin, L. Cohen y D. Cohen (2006), "Principles underlying the design of 'The Number Race', in an adaptive computer game for remediation of dyscalculia", *Behavioral and Brain Functions*, 2(1): 19.
- Wilson, E. O. (1998), *Consilience: The unity of knowledge*, Nueva York, Knopf.
- Wolff, P. H. e I. Melngailis (1996), "Reversing letters and reading transformed text in dyslexia: A reassessment", *Reading and Writing*, 8: 341-355.
- Wong, A. C., I. Gauthier, B. Woroch, C. DeBuse y T. Curran (2005), "An early electrophysiological response associated with expertise in letter perception", *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 5(3): 306-318.
- Wydell, T. N. y B. Butterworth (1999), "A case study of an English-Japanese bilingual with monolingual dyslexia", *Cognition*, 70(3): 273-305.
- Xu, B., J. Grafman, W. D. Gaillard, K. Ishii, F. Vega-Bermudez, P. Pietrini, P. Reeves-Tyer, P. Di Camillo y W. Theodore (2001), "Conjoint and extended neural networks for the computation of speech codes: The neural basis of selective impairment in reading words and pseudowords", *Cerebral Cortex*, 11(3): 267-277.
- Yoncheva, Y. N., V. C. Blau, U. Maurer y B. D. McCandliss (2006), "Strategic focus during learning impacts the neural basis of expertise in reading", póster presentado en la Association for Psychological Science Convention, Nueva York, 25-28 de mayo.
- Zali, A. y A. Berthier (comps., 1997), *L'aventure des écritures: Naissances*, París, Bibliothèque Nationale de France.
- Zeki, S. (2000), *Inner vision: An exploration of art and the brain*, Nueva York, Oxford University Press. [Ed. cast.: *Visión interior: una investigación sobre el arte y el cerebro*, Madrid, A. Machado Libros, 2005.]
- Ziegler, J. C. y U. Goswami (2005), "Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory", *Psychological Bulletin*, 131(1): 3-29.

- Zoccolotti, P., M. De Luca, E. Di Pace, F. Gasperini, A. Judica y D. Spinelli (2005), "Word length effect in early reading in developmental dyslexia", *Brain and Language*, 93(3): 369-373.
- Zorzi, M., G. Houghton y B. Butterworth (1998), "Two routes or one in reading aloud? A connectionist dual-process model", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24: 1131-1161.

Créditos de las figuras

Figuras 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2.2, 2.4, 2.6, 2.15, 2.20, 3.1, 3.8, 3.9, 4.1, 4.2, 5.2, 5.3, 7.1 (abajo), 7.2, 7.3, 7.5 (arriba), 8.2 (arriba), creaciones del autor.

Figura 2.1, compuesta a partir de elementos de Déjerine, J.-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; y las figuras 4 y 7 de Cohen, L., O. Martinaud, C. Lemer, S. Lehéricy, Y. Samson, M. Obadia, A. Slachevsky y S. Dehaene (2003), "Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias", *Cerebral Cortex*, 13: 1313-1333. Reproducidas con permiso de Oxford University Press.

Figura 2.3, cortesía de Michael I. Posner y Marc Raichle.

Figura 2.4, compuesta de elementos de Dehaene, S., G. Le Clec'H, J.-B. Poline, D. Le Bihan y L. Cohen (2004), "The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus", *NeuroReport*, 13(3): 321-325. Con permiso de Wolters Kluwer/Lippicott, Williams & Wilkins.

Figura 2.7, adaptada de la figura 5, p. 5210 de Puce, A., T. Allison, M. Asgari, J. C. Gore y G. McCarthy (1996), "Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: A functional magnetic resonance imaging study", *Journal of Neuroscience*, 16: 5205-5215. Con permiso de la Society for Neuroscience.

Figura 2.8, adaptada de las figuras 6 y 7 de Tarkiainen, A., P. L. Corneilissen y R. Salmelin (2002), "Dynamics of visual feature analysis and object-level processing in face versus letter-string perception", *Brain*, 125 (part 5): 1125-1136.

Figura 2.9, adaptada de las figuras 1, 4 y 6 de Allison, T., A. Puce, D. D. Spencer y G. McCarthy (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. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 2.10, adaptada de las figuras 5 y 6 de Cohen, L., S. Dehaene, L. Naccache, S. Lehéricy, G. Dehaene-Lambertz, M.-A. Hénaff y F. Michel (2000), "The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients", *Brain*, 123: 291-307. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 2.11, adaptada de las figuras 1, 4 y 5 de Cohen, L., S. Dehaene, L. Naccache, S. Lehéricy, G. Dehaene-Lambertz, M.-A. Hénaff y F. Michel (2000), "The visual word forma area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients", *Brain*, 123: 291-307. Con permiso de Oxford University Press; y de las figuras 1 y 3 de Molko, N., L. Cohen, J.-F. Mangin, F. Chochon, S. Lehéricy, D. Le Bihan y S. Dehaene (2002), "Visualizing the neural basis of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14: 629-636. Con permiso de MIT Press.

Figura 2.12, adaptada de las figuras 4 y 5 de Dehaene, S., L. Naccache, L. Cohen, D. Le Bihan, J.-F. Mangin, J.-B. Poline y D. Rivière (2001), "Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming", *Nature Neuroscience*, 4(7): 752-758. Con permiso del Nature Group.

Figura 2.13, adaptada de la figura 1 de Dehaene, S., A. Jobert, L. Naccache, P. Ciuciu, J.-B. Poline, D. Le Bihan y L. Cohen (2004), "Letter binding and invariant recognition of masked words: behavioral and neuroimaging evidence", *Psychological Science*, 15(5): 307-313.

Figura 2.14, adaptada de la figura 4 de Cohen, L., S. Lehéricy, F. Chochon, C. Lemer, S. Rivaud y S. Dehaene (2002), "Language-specific tuning of our visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area", *Brain*, 125 (part 5): 1054-1069. Con

permiso de Oxford University Press; y de la figura 4 de Tarkiainen, A., P. Helenius, P. C. Hansen, P. L. Cornelissen y R. Salmelin (1999), "Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex", *Brain*, 122 (part 11): 2119-2132. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 2.16, adaptada de las figuras 5 y 8 de Catani, M., D. K. Jones, R. Donato y D. H. Ffytche (2001), "Occipito-temporal connections in the human brain", *Brain*, 126 (part 9): 2093-2107. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 2.17, adaptada de elementos de la figura 1 de Marinković, K., R. P. Dhond, A. M. Dale, M. Glessner, V. Carr y E. Halgren (2003), "Spatiotemporal dynamics of modality-specific and supramodal word processing", *Neuron*, 38(3): 487-497. Con permiso de Elsevier.

Figura 2.18, adaptada de elementos de la figura 5 de Jobard, G., F. Crivello y N. Tzourio-Mazoyer (2003), "Evaluation of the dual route theory of reading: A metanalysis of 35 neuroimaging studies", *Neuroimage*, 20(2): 693-712. Con permiso de Elsevier.

Figura 2.19, adaptada de la figura 1 de Van Atveldt, N., E. Formisano, R. Goebel y L. Blomert (2004), "Integration of letters and speech sounds in the human brain", *Neuron*, 43(2): 271-282. Con permiso de Elsevier.

Figura 3.2, adaptada de las figuras 2 y 3 de Tamura, H. y K. Tanaka (2001), "Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macaque inferotemporal cortex", *Cerebral Cortex*, 11(5): 384-399. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 3.3, adaptada de la figura 6, p. 95, de Tanaka, K. (2003), "Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities", *Cerebral Cortex*, 13(1): 90-99. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 3.4, adaptada de las figuras 1 y 3 de Booth, J. R. y E. Rolls (1998), "View-invariant representations of familiar objects by

neurons in the inferior temporal visual cortex", *Cerebral Cortex*, 8(6): 510-523. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 3.5, adaptada de las figuras 1 y 5 de Rolls, E. T. (2000), "Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant visual object and face recognition", *Neuron*, 27(2): 205-218. Con permiso de Elsevier.

Figura 3.6, adaptada de las figuras 1 y 7 de Tanaka, K. (2003), "Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities", *Cerebral Cortex*, 13(1): 90-99. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 3.7, adaptada de Biederman, I. (1987), "Recognition-by-components: A theory of human image understanding", *Psychological Review*, 94(2): 115-147. Con permiso de la American Psychological Association.

Figura 3.10, adaptada de las figuras 2 y 4 de Hasson, U., I. Levy, M. Behrmann, T. Hendler y R. Malach (2002), "Eccentricity bias as an organizing principle for human high-order object areas", *Neuron*, 34(3): 479-490. Con permiso de Elsevier.

Figura 3.11, adaptada de las figuras 1 y 2 de Cohen, L., S. Lehericy, C. Henry, M. Bourgeois, C. Larroque, C. Sainte-Rose, S. Dehaene y L. Hertz-Pannier (2004), "Learning to read without a left occipital lobe: Right-hemispheric shift of visual word form area", *Annals of Neurology*, 56(6): 890-894.

Figura 4.3, tomada de <www.wam.umd.edu>, con permiso de Robert Fradkin.

Figura 5.1, cortesía de Ed Hubbard.

Figura 6.1, arriba, a la izquierda, cortesía de Eraldo Paulesu; arriba a la derecha, adaptada de la figura 3, panel D de Paulesu, E., J.-F. Demonet, F. Fazio, E. McCrory, V. Chanoine, N. Brunswick, S. Francesco, G. Cossu, M. Habib, C. D. Frith y U. Frith (2001), "Dyslexia: cultural diversity and biological unity", *Science*,

291(5511): 2165-2167. Reimpresa con el permiso de la American Association for the Advancement of Science (AAAS); medio, adaptada de la figura 3 de Silani, G., U. Frith, J.-F. Demonet, F. Fazio, D. Perani, C. Price, C. D. Frith y E. Paulesu (2005), "Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study", *Brain*, 128 (part 10): 2453-2461. Con permiso de Oxford University Press; abajo a la izquierda y abajo a la derecha, cortesía de Albert Galaburda.

Figura 6.2, adaptada de la figura 1a de Klingberg, T., M. Hedeus, E. Temple, T. Salz, J. D. E. Gabrieli, M. E. Moseley y R. A. Poldrack (2000), "Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging", *Neuron*, 25(2): 493-500. Con permiso de Elsevier; y de las figuras 3a y 4a de Beaulieu, C., C. Plewes, L. A. Paulson, D. Roy, L. Snook, L. Concha y L. Phillips (2005), "Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability", *Neuroimage*, 25(4): 1266-1271. Con permiso de Elsevier.

Figura 6.3, adaptada de la figura 1 de Temple, E., G. K. Deutsch, R. A. Poldrack, S. L. Miller, P. Tallal, M. M. Merzenich y J. D. Gabrieli (2003), "Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5): 2860-2865.

Figura 7.1 (arriba), adaptada de Walsh, V. y S. R. Butler (1996), "The effects of visual cortex lesions on the perception of rotated shapes", *Behavioral Brain Research*, 76(1-2): 127-142. Con permiso de Elsevier.

Figura 7.4, adaptada de Logothetis, N. K. y J. Pauls (1995), "Psychophysical and physiological evidence for viewer-centered object representations in the primate", *Cerebral Cortex*, 5(3): 270-288. Con permiso de Oxford University Press.

Figura 7.5 (abajo), adaptada de la figura 3 de Houzel, J.-C., M. L. Carvalho y R. Lent (2002), "Interhemispheric connections between primary visual areas: Beyond the midline rule", *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 35(12): 1441-1453.

Figura 7.6, adaptada de las figuras 6 y 7 de Turnbull, O. H., N. Beschin y S. Della Sala (1997), "Agnosia for object orientation: Implications for theories of object recognition", *Neuropsychologia*, 35(2): 153-163. Con permiso de Elsevier.

Figura 7.7, adaptada de la figura 1 de Gottfried, J. A., F. Sancar y A. Chatterjee (2003), "Acquired mirror writing and reading: Evidence for reflected graphemic representations", *Neuropsychologia*, 41(1): 96-107.

Figura 7.8, adaptada de la tabla 2 y de la figura 1 de McCloskey, M. y B. Rapp (2000), "A visually based developmental reading deficit", *Journal of Memory and Language*, 43: 157-181. Con permiso de Elsevier; y de McCloskey, M., B. Rapp, S. Yantis, G. Rubin, W. Bacon, G. Dagniele, B. Gordon, D. Aliminoso, D. F. Boatman, W. Badecker, D. N. Johnson, R. J. Tusa y E. Palmer (1995), "A developmental deficit in localizing objects from vision", *Psychological Science*, 6: 112-117.

Figura 8.1, izquierda, adaptada de Tanaka, M., M. Tomonaga y T. Matsuzawa (2003), "Finger drawing by infant chimpanzees (*Pan troglodytes*)", *Animal Cognition*, 6(4): 245-251. Con el amable permiso de Springer Science+Business Media; derecha, imagen reproducida con permiso de <www.great-apes.com>, © Canadian Ape Alliance.

Figura 8.2 (abajo), adaptada de la figura 3 de Goldman-Rakic, P. S. (1988), "Topography of cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex", *Annual Review of Neuroscience*, 11: 137-156; y de la figura 1 de Catani, M. y D.-H. Ffytche (2005), "The rises and falls of disconnection syndromes", *Brain*, 128 (part 10): 2224-2239. Con permiso de Oxford University Press.