

Construyendo un cerebro que pueda leer, parte 1: Sonido y vista

Donna Coch^{1*}

¹Profesora, Departamento de Educación, Dartmouth College, Estados Unidos.

 0000-0001-9785-2856

El cerebro humano no está diseñado para leer. Para aprender a leer, debemos utilizar y conectar sistemas neuronales del lenguaje hablado y el procesamiento visual.

*Correspondencia

Donna Coch
donna.j.coch@dartmouth.edu

Citación

Coch D. Construyendo un cerebro que pueda leer, parte 1: Sonido y vista. JONED. Journal of Neuroeducation. 2023; 3(2): 15-23. doi: 10.1344/joned.v3i2.41555

Fecha de publicación: 15/02/2023

Artículo original

Publicado el 17 de febrero de 2021 en el Science of Learning Portal de la International Bureau of Education de la Unesco

Este informe surge de las Becas de Ciencias del Aprendizaje financiadas por la Organización Internacional de Investigación del Cerebro (IBRO) en asociación con la Oficina Internacional de Educación (IBE) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). La Beca de Ciencias del Aprendizaje IBRO/IBE-UNESCO tiene como objetivo apoyar y traducir la investigación neurocientífica clave sobre el aprendizaje y el cerebro a educadores, responsables políticos y gobiernos.

Traducido y reproducido con permiso.

Derechos de autor

© Donna Coch, 2023

Esta publicación está sujeta a la Licencia Internacional Pública de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 de Creative Commons.



Resumen ejecutivo

- La lectura es una invención cultural relativamente reciente: el cerebro humano no está diseñado para leer.
- Para leer, debemos partir y basarnos en otros sistemas neuronales. Nos basamos en:
 - Sistemas de procesamiento del lenguaje oral, para el procesamiento de los sonidos hablados.
 - Sistemas que relacionan las letras impresas con los sonidos hablados.
 - Áreas de procesamiento visual, para percibir las palabras impresas.
 - Sistemas de procesamiento visual, para mover los ojos por el texto de una página.
- Aprender a leer no sucede de forma natural:
 - Se ha de enseñar a los niños a leer.
 - Se deben construir cerebros que puedan leer.

Palabras clave: Aprender a leer / Enseñanza eficaz

El cerebro humano no está diseñado para leer

La lectura es una invención cultural relativamente reciente. Biológicamente, esto significa que el cerebro humano no está diseñado para leer. Es decir, el cerebro no está dotado de una parte innata que “lea”. De hecho, desde una perspectiva evolutiva, no ha habido tiempo suficiente para desarrollar una parte del cerebro que “lea”. Y, sin embargo, estás leyendo estas palabras. ¿Qué lo hace posible?

Has construido un cerebro que puede leer valiéndote de otros sistemas neuronales, construyendo sobre ellos y “reciclandolos”^{p. ej., 1,2}. Con el tiempo y con la práctica de la lectura, tú y tu cerebro habéis conectado estos sistemas para trabajar juntos al servicio de la lectura. Para quienes no han tenido la oportunidad de lograrlo, los costes sociales y económicos del analfabetismo, y más aún para las mujeres y las niñas, son enormes^{p. ej., 3}. Este resumen, dividido en dos partes (puedes consultar *Construir un cerebro que pueda leer, parte 2: vocabulario y significado*), examina algunos de los sistemas que intervienen en la construcción de un cerebro capaz de leer palabras.*

Procesamiento del lenguaje hablado: conciencia fonémica

La *conciencia fonológica* es una sensibilidad a la estructura sonora del lenguaje hablado^{p. ej., 4,5}. Comporta la capacidad de detectar, identificar y manipular los sonidos del lenguaje hablado. Las unidades más pequeñas del lenguaje hablado que distinguen una palabra de otra se llaman *fonemas*. Por ejemplo, el sonido que hace la letra *p* es un fonema en inglés. De ahora en adelante, usaré barras oblicuas para indicar que me refiero a sonidos en lugar de a letras; así, el sonido que hace la letra *p* es /p/.

La conciencia fonológica a nivel de fonemas se denomina *conciencia fonémica*. Por ejemplo, saber cuáles de las palabras habladas *mop*, *car* y *mat* comienzan con el mismo sonido refleja la conciencia

fonémica. También lo es poder mezclar los sonidos separados /m/ /a/ /t/ en la palabra hablada *mat*. O poder sustituir /b/ por /m/ en la palabra hablada *mat* para crear la nueva palabra hablada *bat*. La conciencia fonémica es uno de los mejores predictores del aprendizaje de la lectura en lenguas alfabéticas^{p. ej., 6, 7}. De hecho, la conciencia fonémica predice la capacidad de lectura a lo largo de los años escolares, desde el jardín de infancia hasta el grado 12 (hasta los 12 años – 6º de primaria)^{8, **}. Enseñar explícitamente a los estudiantes a reconocer y manipular fonemas (por ejemplo, a través de juegos de aislamiento y combinación, combinación y sustitución, como en los ejemplos anteriores) se considera la mejor práctica basada en evidencia de investigación sólida^{p. ej., 10,11, p. 2}. La **figura 1** resume algunas tareas de reconocimiento fonético.

Desafortunadamente, dividir las palabras habladas en fonemas no es sencillo. Por ejemplo, considera la palabra hablada *box*. ¿Cuántos fonemas hay en esta palabra y cuáles son? Hay cuatro fonemas en el recuadro de la palabra hablada: /b/ /o/ /k/ /s/. Si te has equivocado en el análisis fonético, no estás solo. Prueba este: ¿cuántos y qué fonemas hay en la palabra hablada *shoe*? Solo hay dos fonemas en *shoe*: /sh/ y /oo/. Muchos maestros en activo y en formación son incapaces realizar con precisión tareas de recuento y manipulación de fonemas, como estos ejemplos de segmentación de fonemas^{p. ej., 12, 13, 14}. A los maestros les cuesta enseñar a los niños pequeños sobre los fonemas en las palabras habladas sin una comprensión adecuada de los fonemas en sí. Por suerte, existen recursos para ayudar a los docentes a mejorar su conocimiento e instrucción fonémica^{p. ej., 11, 15, 16}.

El lenguaje hablado se procesa en muchas regiones del cerebro. Por ejemplo, un área en la parte superior del lóbulo temporal (llamada *circunvolución/surco temporal superior posterior*, **figura 2**) está especializada en el procesamiento del habla^{p. ej., 17}. En los adultos que escuchan el habla, grupos específicos de neuronas en esta región son activados por

* Ambas partes de este resumen utilizan el inglés como ejemplo de lengua alfabética (lengua en la cual los símbolos del alfabeto impreso se corresponden con los sonidos del idioma hablado). Leer en todos los idiomas implica la correspondencia entre el texto impreso y el habla, pero en diferentes niveles (tamaños de los componentes). Ambas partes de este resumen también se refieren a los lectores principiantes como niños pequeños, pero los mismos principios se aplican a los lectores principiantes más mayores y a adultos.

** En concreto, la naturaleza lingüística y la complejidad fonológica de los estímulos, junto con el requisito de producir una respuesta verbal, son componentes de las tareas de conciencia fonémica que se han relacionado con la posterior capacidad lectora (en términos de decodificación)⁹.

| |
|---|
| Phoneme substitution Say <i>rat</i> . Now change the /r/ to /m/. (<i>mat</i>) |
| Phoneme addition Say <i>rat</i> . Now add /b/ to the beginning of <i>rat</i> . (<i>brat</i>) |
| Phoneme deletion Say <i>rat</i> . Now say <i>rat</i> without the /r/. (<i>at</i>) |
| Phoneme segmentation What sounds are in the word <i>rat</i> ? (/r/ /a/ /t/) |
| Phoneme blending What word do the sounds /r/ /a/ /t/ make? (<i>rat</i>) |
| Phoneme categorization Which word does not belong? <i>rat</i> , <i>fan</i> , <i>run</i> (<i>fan</i>) |
| Phoneme identification Which word has the same first sound as <i>rat</i> ? <i>fan</i> , <i>bag</i> , <i>run</i> (<i>run</i>) |
| Phoneme isolation What is the first sound in the spoken word <i>rat</i> ? (/r/) What is the last sound in the spoken word <i>rat</i> ? (/t/) |

Figura 1. Algunas tareas de conciencia fonémica, con ejemplos, de más fácil (abajo) a más difícil (arriba). Observa que la tarea más difícil, la sustitución de fonemas, depende de muchas otras habilidades. Recuerda también que la conciencia fonémica implica el procesamiento del sonido, por lo cual la escritura no está involucrada en estas tareas, solo las palabras y los sonidos hablados.

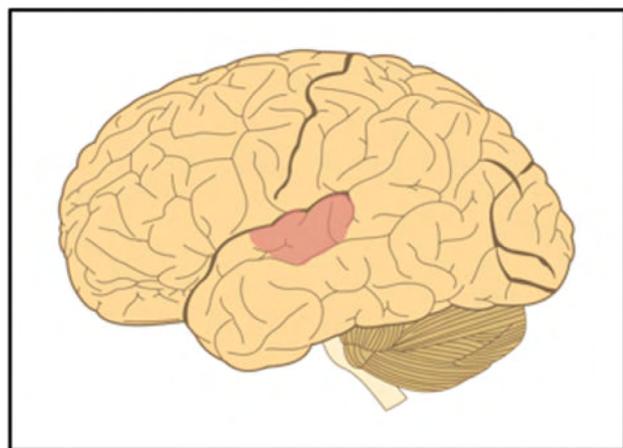


Figura 2. Vista del hemisferio izquierdo del cerebro humano con la región temporal posterior superior sombreada en rosa. Modificado de Hugh Geiney (sombreado agregado) en Wikimedia Commons, CC BY-SA

Es decir, esta región codifica y procesa el lenguaje hablado a nivel de fonemas. Esta misma región temporal superior también está activa durante la lectura silenciosa en lectores fluidos cuando no hay entrada de sonido hablado procedente del entorno externo^{p. ej., 20,21}. Esto significa que tomamos prestado el sistema de procesamiento del lenguaje hablado al servicio de la lectura^{p. ej., 22}.

Pero hay aún más en esta historia: este sistema de procesamiento del lenguaje se altera de forma asombrosa en el curso del aprendizaje de la lectura^{p. ej., 23,24,25}. Es decir, aprender a leer llega a cambiar la forma como el cerebro procesa el habla. Después de aprender a leer, “el procesamiento del habla implica automáticamente la descomposición del sonido del habla en fonemas constituyentes... El lenguaje nunca vuelve a ser el mismo”^{26, pp. 1010-1011}. Después de solo un año de enseñanza en la lectura, los niveles de activación en la región temporal superior aumentan cuando los niños escuchan el lenguaje hablado²⁷. Que los niños puedan identificar el mismo sonido /m/ en las palabras *mat*, *small* y *jam* es el resultado de aprender a leer. En las lenguas alfabéticas, aprender a leer es lo que nos permite procesar el habla a nivel de fonemas y lo que reorganiza los sistemas neuronales de procesamiento del lenguaje subyacentes a esta habilidad².

Conectando el habla con la letra impresa: descodificación

Por lo tanto, aprender a leer en idiomas alfabéticos va de la mano de tomar conciencia de los fonemas en el habla. También implica el conocimiento de letras y combinaciones de letras impresas;^{*} y, todavía más importante, comprender que ambas cosas están relacionadas: que los sonidos del lenguaje se corresponden con las letras escritas. El principio alfabético es la comprensión de que existen relaciones específicas entre los sonidos hablados y las letras impresas. La enseñanza de la lectura y la conciencia fonológica se refuerzan mutuamente, porque “la conciencia fonológica ayuda a los niños a descubrir el principio alfabético... y aprender a leer la escritura alfabética también desarrolla la conciencia fonológica y fonémica”^{28, p. 9}. La tarea del lector principiante

* Para más información sobre el desarrollo del conocimiento de las letras, consúltese el resumen de esta serie *Alfabetización emergente: construir una base para aprender a leer*.

es aprender qué letras se asocian a qué sonidos, la llamada *correspondencia grafema-fonema*.

El aprendizaje de las correspondencias entre letras (grafemas) y sonidos (fonemas) es la base de la *descodificación* en el inicio de la lectura. La descodificación es el proceso laborioso de atender cada letra en una palabra impresa, asignarla a un sonido y luego combinar los sonidos para leer la palabra. Por ejemplo, al comenzar a leer, la palabra escrita *cat* en la página se lee como /kuh/ /ahh/ /tuh/ y después esos sonidos se mezclan en la palabra hablada *cat*. La descodificación letra por letra depende en parte de la memoria verbal a corto plazo, que predice el inicio de la lectura a nivel de palabra²⁹.

Los *textos decodificables* son libros que están diseñados para proporcionar una amplia práctica en la pronunciación de palabras basadas en patrones (por ejemplo, *cat, hat, mat, sat, bat*) y se usan a menudo en los planes de estudio de fonética.* Véase un ejemplo en la **figura 3**. Los métodos fonéticos para enseñar a leer se enfocan a desarrollar el conocimiento de la correspondencia grafema-fonema de una manera explícita, sistemática y estructurada, y se consideran la mejor manera de enseñar a leer en idiomas alfabéticos p. ej., 10,31. Existe una fuerte evidencia a favor de enseñar a los estudiantes a descodificar al principio de la lectura para reconocer palabras sueltas, como

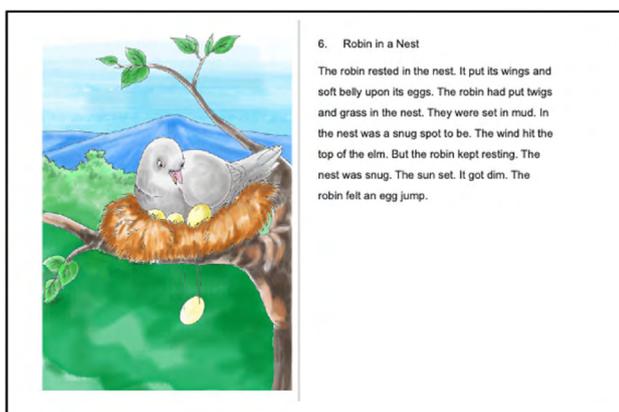


Figura 3. Ejemplo de texto decodificable (ficción). http://www.freereading.net/w/images/f/f5/Decodable_Fiction_6.pdf, CC-BY SA 3.0EE. UU.

* Los textos decodificables exponen a los niños a patrones repetidos de letras y sonidos (por ejemplo, -at) para que, con la práctica, los lectores principiantes finalmente reconozcan el patrón y no tengan que pronunciar cada elemento (por ejemplo, /at/ en lugar de /a/ /t/). Dados un vocabulario controlado (y, por lo tanto, limitado) y un argumento en los textos decodificables, los maestros pueden considerar la posibilidad de complementarlos con otros textos narrativos e informativos que puedan leerse con apoyo o ser leídos en voz alta. Dichos textos pueden facilitar una exposición más amplia al vocabulario y pueden aumentar el interés y la motivación por la lectura³⁰.

una habilidad fundamental a fin de apoyar la lectura para la comprensión¹¹.

La rapidez con la que los niños aprenden a decodificar y leer palabras depende de la naturaleza del lenguaje en cuestión p. ej., 32, 33, 34. Esto es así porque la regularidad de las correspondencias grafema-fonema varía entre los idiomas. Esta regularidad, o la falta de ella, se conoce como profundidad ortográfica de una lengua; la información de profundidad ortográfica está representada a escala mundial en la **figura 4**. Cuando las correspondencias son muy uniformes (un grafema dado casi siempre se asigna al mismo fonema), como sucede en idiomas con una ortografía poco profunda como el italiano, los niños pueden aprender todas las correspondencias que se aplicarán a todas las palabras durante el primer año (o incluso en meses) de enseñanza. Pero cuando las correspondencias son menos consistentes (un grafema determinado puede asignarse a múltiples fonemas, como una c en inglés, que se asigna a /k/ o /s/, como en *cat* o *city*), como es el caso de los idiomas con una ortografía profunda, se requiere más tiempo para que se dé el aprendizaje. Por ejemplo, los niños que aprenden a leer en inglés necesitan al menos dos años más de formación para leer al mismo nivel que los niños que aprenden a leer en italiano³².

Tanto en niños como en adultos, la información visual de las letras y el sonido del habla auditiva se

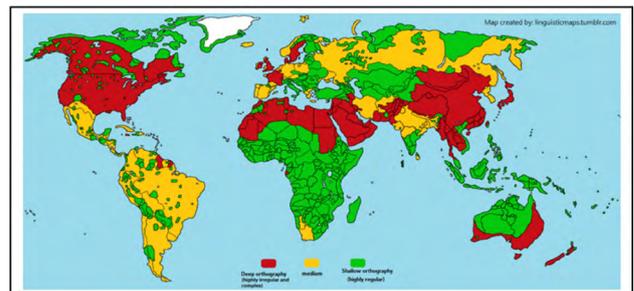


Figura 4. Profundidad ortográfica, representada en tres niveles, aunque en realidad es un espectro, para los idiomas de todo el mundo. Atribución: R. Pereira. <https://linguisticmaps.tumblr.com/post/187856489343/orthographic-depth-languages-have-different-levels>

integran en las regiones neurales a lo largo de la parte superior del lóbulo temporal³⁵⁻³⁸. Las regiones del surco temporal superior y del plano temporal/surco de Heschl están metidas en los pliegues de la parte superior del lóbulo temporal, como se observa en la **figura 5**. Estas son las áreas que codifican las correspondencias grafema-fonema a medida que los niños aprenden a leer. Aunque aprender qué letras corresponden a cada sonido se puede aprender en meses en idiomas consistentes, pasar de construir asociaciones a integrar automáticamente letras y sonidos en nuevas representaciones neuronales audiovisuales puede llevar años de experiencia lectora^{37,39}.

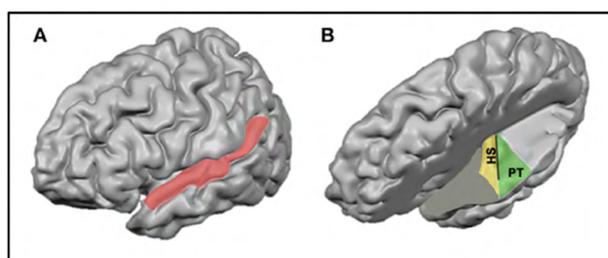


Figura 5. (A) Vista del hemisferio izquierdo del cerebro humano con la región temporal superior sombreada en rosa. (B) Vista interna desde la parte superior del lóbulo temporal izquierdo con áreas parietales eliminadas para revelar el surco de Heschl (HS) y el plano temporal (PT). Modificado de Michelle Moerel, Federico De Martino y Elia Formisano, 2014, Wikimedia Commons, CC-BY 3.0

Procesamiento visual: percepción de palabras

La vía visual ventral, que va desde el lóbulo occipital a lo largo de la parte inferior del lóbulo temporal (**figura 6**), está especializada en el procesamiento de texturas, colores, patrones, formas y detalles finos^{p. ej., 40}. Estas características de cualquier información visual entrante se procesan a lo largo de esta vía. El procesamiento neuronal de letras y palabras se basa en gran medida en las especializaciones de esta parte del sistema visual. Por ejemplo, el detalle fino que distingue una G de una C, la forma de la letra B como una línea vertical y dos curvas en una disposición específica, y los patrones de grafemas que comprenden secuencias significativas, como *cat* o *-ing*, aprovechan lo que aporta esta vía.

La lectura no solo se nutre de la vía visual ventral, sino que también se basa en ella y la transforma. En

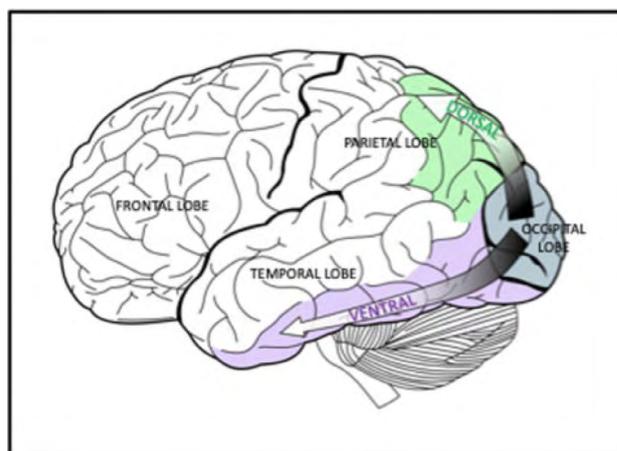


Figura 6. Vías de procesamiento visual ventral (sombreado en púrpura) y dorsal (sombreado en verde). (etiquetas añadidas). Selket/Wikimedia Commons, licencia de documentación libre GNU, CC BY-SA 3.0

un estudio inicial, los investigadores presentaron a lectores adultos fluidos cuatro tipos de estímulos: palabras reales (por ejemplo, ANT), palabras inventadas (por ejemplo, GEEL), cadenas de letras (por ejemplo, VSHFFT) y cadenas de símbolos similares a letras⁴¹. Al comparar las respuestas neuronales a estos diferentes tipos de estímulos, los investigadores observaron un área a lo largo de la vía visual ventral que estaba activa solo para las palabras reales y las inventadas. Como eran los estímulos que visualmente adoptaban la forma de las palabras en inglés, los investigadores denominaron a esa zona área visual de la forma de las palabras. Se trataba de uno de los primeros informes de neuroimagen de una región cerebral especializada en el procesamiento de objetos visuales que adoptaban la forma de "parecían" palabras. Esta pequeña porción de córtex parecía estar sintonizada con la ortografía de las palabras (**figura 7**). Desde entonces, este hallazgo se ha repetido muchas veces, y el área de la forma visual de las palabras se ha asociado sistemáticamente con el procesamiento ortográfico automático de las palabras en lectores fluidos^{p. ej., 42, 43-46}.

El área visual de la forma de las palabras no se activa con la letra impresa en personas que no saben leer². Aprender a leer impulsa el desarrollo y la especialización del área de forma de palabra visual. Esta región se sintoniza cada vez más con las palabras con la experiencia de lectura^{p. ej., 42, 44}. En esencia, el área visual de la forma de la palabra toma forma dentro de la vía visual ventral a medida que aumenta

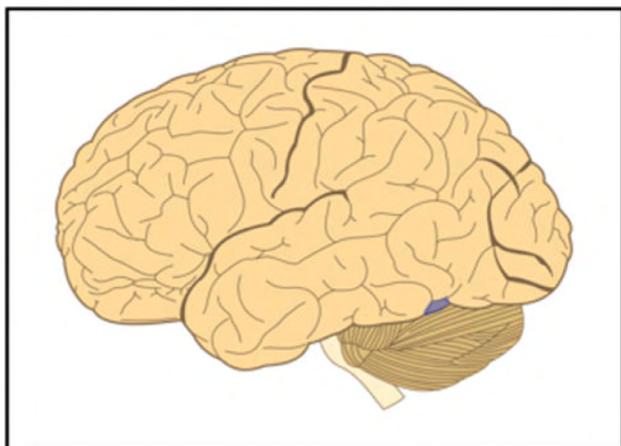


Figura 7. Una vista del hemisferio izquierdo del cerebro humano con la ubicación aproximada del área visual de formación de palabras sombreada en púrpura. Modificado de Hugh Geiney (sombreado agregado) en Wikimedia Commons, CC BY-SA

la experiencia en la lectura ^{p. ej., 44,47 *}. Comienza a especializarse con el aumento del conocimiento de las letras, el conocimiento de los sonidos de las letras y las habilidades de decodificación ^{p. ej., 47,49,50}. De hecho, los niveles de activación en el área visual de la forma de las palabras están asociados a la capacidad de decodificación en lectores de 7 a 18 años ^{p. ej., 51}. De ello se deduce que la especialización del área visual de la forma de las palabras para el procesamiento de texto ortográfico automático se extiende más allá de los últimos años de la escuela primaria ^{p. ej., 52,53} hasta la adolescencia ^{p. ej., 54}.

Procesamiento visual: movimientos oculares

La vía visual dorsal, que va desde el lóbulo occipital a través del lóbulo temporal posterior hasta el lóbulo parietal (figura 6), está especializada en el procesamiento del movimiento y la percepción de la profundidad ^{p. ej., 40}. La contribución de esta vía de procesamiento visual a la lectura puede ser menos obvia, dado que no hay nada que se mueva en una página estándar de texto y la impresión no tiene profundidad. Sin embargo, los ojos del lector necesitan moverse a través del texto de una página, de una manera cuidadosamente calibrada y coordinada. Por

ejemplo, tratar de leer en inglés de derecha a izquierda o saltarse una línea de texto seguramente creará problemas de comprensión. Debido a sus especialidades principales, la vía visual dorsal también está involucrada en el control oculomotor (movimientos oculares) ^{p. ej., 55}. Así pues, aprender a leer también depende de la vía visual dorsal.

Los ojos de los lectores se mueven por la página en una serie de paradas y saltos. Las paradas se denominan *fijaciones*, períodos durante los cuales los ojos están relativamente quietos, y los saltos se llaman movimientos *sacádicos*, períodos en los que los ojos se mueven a la siguiente fijación ^{p. ej., 56}. Esto se ilustra en la figura 8. Observar los movimientos de los ojos de un lector principiante muestra que las habilidades involucradas en mover los ojos con fluidez a través del texto en una página llevan algún tiempo antes de que se consigan desarrollar. En comparación con los lectores fluidos, los principiantes presentan fijaciones más largas (sus ojos permanecen en un lugar de la página durante más tiempo), movimientos sacádicos más cortos (mueven sus ojos a la siguiente fijación solo 1 o 2 letras, en lugar de 7 a 9, como sucede con los lectores fluidos) y más retornos (vuelven atrás la mirada más a menudo para examinar el texto ya visto) ^{p. ej., 56,57,58}. De promedio, “los lectores principiantes necesitan dos fijaciones para identificar una palabra, mientras que los lectores adultos solo necesitan una fijación” ^{58, p. 232}. Cabe tener en cuenta que incluso las letras que no están fijadas se ven, en lo que se llama el *lapso de percep-*

The quick brown fox jumped over the lazy dog

Figura 8. Viñeta de una frase leída con fijaciones (puntos azules, cuando los ojos se detienen brevemente) y movimientos sacádicos (líneas naranjas, cuando los ojos se mueven por el texto) marcados. Para los lectores expertos, las fijaciones duran entre 200 y 250 milisegundos y la duración promedio de los movimientos sacádicos es de 7 a 9 espacios entre letras. Para los lectores principiantes, las fijaciones pueden durar más de 300 milisegundos y la duración media de los movimientos sacádicos es mucho más corta, a veces solo 1 o 2 espacios entre letras. La fijación y la duración de los movimientos sacádicos también dependen de la familiaridad y la complejidad del texto.

* Similar a otras áreas a lo largo de la vía visual ventral que se va especializando para aves en observadores expertos de aves o para automóviles en expertos en automóviles ⁴⁸.

ción p. ej., 58*. Cada letra de la página se procesa visualmente a lo largo de la lectura. Con la práctica de la lectura, los movimientos de los ojos en el transcurso de la lectura se vuelven más similares a los de los adultos. Es probable que esto ocurra cuando el sistema visual dorsal aprende “los movimientos oculares especializados y los patrones de atención visual necesarios para leer” 60, p. 72. Por consiguiente, cuando aprendemos a leer, recurrimos al procesamiento que tiene lugar en la vía visual dorsal y, al mismo tiempo, lo modificamos.

Conclusión, parte 1

Debido a que el cerebro no está diseñado para leer, aprender a leer no sucede de forma natural, sin instrucción 61. Dicho de otro modo, la lectura no es innata y los niños tienen que aprender las relaciones sistemáticas entre los sonidos del habla y los símbolos visuales en su(s) idioma(s): a los niños se les ha de enseñar a leer. Esto significa que aprender a leer no es un mero conjunto de habilidades técnicas, sino también una práctica social, situada en un con-

texto cultural de escolarización y otros entornos de aprendizaje 62.

Al inicio de la enseñanza formal, aprender a leer en idiomas alfabéticos depende de experiencias estructuradas con los sonidos del idioma (fonemas) y las letras y palabras impresas (grafemas), de la comprensión del principio alfabético y de mucha práctica en la tarea de asignar grafemas a fonemas hasta que las palabras se pueden reconocer y leer automáticamente. ** Como se ha comentado en este artículo, estas experiencias se valen de múltiples redes de procesamiento, al tiempo que las van construyendo y remodelando. La enseñanza debe dirigirse a todas estas habilidades con el fin de cultivar a un niño que pueda leer, y a todas estas redes neuronales con el fin de construir un cerebro que pueda leer.

Con todo, aprender a leer palabras no se termina aquí; son muchos los procesos que deben producirse de forma concertada. En la segunda parte de este resumen, *Desarrollar un cerebro que pueda leer, parte 2: vocabulario y significado*, se analizan otros aspectos clave del inicio de la lectura.

Referencias

1. Dehaene, S. Reading in the brain: the science and evolution of a human invention. (Viking, 2009).
2. Dehaene, S. et al. How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science* 330, 1359-1364, doi:10.1126/science.1194140 (2010).
3. World Literacy Foundation. The economic and social costs of illiteracy. (World Literacy Foundation, Melbourne, Australia, 2018).
4. Treiman, R. The foundations of literacy. *Current Directions in Psychological Science* 9, 89-92, doi:10.1111/1467-8721.00067 (2000).
5. Anthony, J. L. & Francis, D. J. Development of phonological awareness. *Current Directions in Psychological Science* 14, 255-259, doi:10.1111/j.0963-7214.2005.00376.x (2005).
6. Høien, T., Lundberg, I., Stanovich, K. E. & Bjaalid, I.-K. Components of phonological awareness. *Reading and Writing* 7, 171-188, doi:10.1007/BF01027184 (1995).
7. Melby-Lervåg, M., Halaas, S.-A. H. & Hulme, C. Phonological skills and learning to read: a meta-analytic review. *Psychol. Bull.* 138, 322-352, doi:10.1037/a0026744 (2012).
8. Calfee, R. C., Lindamood, P. & Lindamood, C. Acoustic-phonetic skills and reading – Kindergarten through twelfth grade. *J. Educ. Psychol.* 64, 293-298, doi:10.1037/h0034586 (1973).
9. Cunningham, A. J., Witton, C., Talcott, J. B., Burgess, A. P. & Shapiro, L. R. Deconstructing phonological tasks: the contribution of stimulus and response type to the prediction of early decoding skills. *Cognition* 143, 178-186, doi:10.1016/j.cognition.2015.06.013 (2015).
10. National Institute of Child Health and Human Development. 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 No. 00-4769). (U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 2000).
11. Foorman, B. et al. Foundational skills to support reading for

* Como lector fluido, tu capacidad de percepción te permite ver de 7 a 9 espacios de letras a la derecha de tu fijación, aunque no tan claramente como las letras dentro de la fijación, ya que estás leyendo en un idioma alfabético que se lee de izquierda a derecha, como el inglés. En los idiomas alfabéticos que se leen de derecha a izquierda, el intervalo de percepción se extiende a la misma distancia hacia la izquierda que los lectores fluidos 59.

** De ello se deduce que es recomendable realizar pruebas básicas de visión y audición mucho antes de que comience el aprendizaje formal de la lectura; si un niño no puede ver los grafemas u oír los fonemas con claridad, el proceso se verá comprometido.

- understanding in kindergarten through 3rd grade. (National Center for Education Evaluation and Regional Assistance (NCEE), Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education, Washington, DC, 2016).
12. Bos, C., Mather, N., Dickson, S., Podhajski, B. & Chard, D. Perceptions and knowledge of preservice and inservice educators about early reading instruction. *Annals of Dyslexia* 51, 97-120, doi:10.1007/s11881-001-0007-0 (2001).
 13. Cheesman, E. A., McGuire, J. M., Shankweiler, D. & Coyne, M. First-year teacher knowledge of phonemic awareness and its instruction. *Teacher Education and Special Education* 32, 270-289, doi:10.1177/0888406409339685 (2009).
 14. Stainthorp, R. Use it or lose it. *Literacy Today*, 16-17 (2003).
 15. Moats, L. C. *Speech to print: language essentials for teachers.* (Paul H. Brookes, 2000).
 16. Lindamood, P., Bell, N. & Lindamood, P. Sensory-cognitive factors in the controversy over reading instruction. *Journal of Developmental and Learning Disorders* 1, 143-182 (1997).
 17. Binder, J. R. et al. Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds. *Cereb. Cortex* 10, 512-528, doi:10.1093/cercor/10.5.512 (2000).
 18. Mesgarani, N., Cheung, C., Johnson, K. & Chang, E. F. Phonetic feature encoding in human superior temporal gyrus. *Science* 343, 1006-1010, doi:10.1126/science.1245994 (2014).
 19. Chang, E. F. et al. Categorical speech representation in human superior temporal gyrus. *Nat. Neurosci.* 13, 1428-1433, doi:10.1038/nn.2641 (2010).
 20. Joubert, S. et al. Neural correlates of lexical and sublexical processes in reading. *Brain Lang.* 89, 9-20, doi:10.1016/S0093-934X(03)00403-6 (2004).
 21. Simos, P. G. et al. Brain mechanisms for reading: the role of the superior temporal gyrus in word and pseudoword naming. *Neuroreport* 11, 2443-2447, doi:10.1097/00001756-200008030-00021 (2000).
 22. Moats, L. C. *Speech to print: language essentials for teachers.* 2nd edn, (Paul H. Brookes, 2010).
 23. Brennan, C., Cao, F., Pedroarena-Leal, N., McNorgan, C. & Booth, J. R. Reading acquisition reorganizes the phonological awareness network only in alphabetic writing systems. *Hum. Brain Mapp.* 34, 3354-3368, doi:10.1002/hbm.22147 (2013).
 24. Castro-Caldas, A., Petersson, K. M., Reis, A., Stone-Elander, S. & Ingvar, M. The illiterate brain: Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain* 121, 1053-1063, doi:10.1093/brain/121.6.1053 (1998).
 25. Nation, K. & Hulme, C. Learning to read changes children's phonological skills: evidence from a latent variable longitudinal study of reading and nonword repetition. *Developmental Science*, doi:10.1111/j.1467-7687.2010.01008.x (2010).
 26. Frith, U. Literally changing the brain. *Brain* 121, 1011-1012, doi:10.1093/brain/121.6.1011 (1998).
 27. Monzalvo, K. & Dehaene-Lambertz, G. How reading acquisition changes children's spoken language network. *Brain Lang.* 127, 356-365, doi:10.1016/j.bandl.2013.10.009 (2013).
 28. Pang, E. S., Muaka, A., Bernhardt, E. B. & Kamil, M. L. Teaching reading. *Education Practices Series—12.* (International Bureau of Education, International Academy of Education, Geneva, Switzerland, 2003).
 29. Cunningham, A. J., Burgess, A. P., Witton, C., Talcott, J. B. & Shapiro, L. R. Dynamic relationships between phonological memory and reading: a five year longitudinal study from age 4 to 9. *Developmental Science*, 1-18, doi:10.1111/desc.12986 (2020).
 30. Templeton, S. & Gehsmann, K. M. *Teaching reading and writing: the developmental approach.* (Pearson, 2014).
 31. National Research Council. *Preventing reading difficulties in young children.* (National Academy Press, 1998).
 32. Seymour, P. H. K., Aro, M. & Erskine, J. M. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *Br. J. Psychol.* 94, 143-174, doi:10.1348/000712603321661859 (2003).
 33. Ziegler, J. C. & Goswami, U. Becoming literate in different languages: similar problems, different solutions. *Developmental Science* 9, 429-453 (2006).
 34. Caravolas, M., Lervåg, A., Defior, S., Málková, G. S. & Hulme, C. Different patterns, but equivalent predictors, of growth in reading in consistent and inconsistent orthographies. *Psychological Science* 24, 1398-1407, doi:10.1177/0956797612473122 (2013).
 35. Blau, V. et al. Deviant processing of letters and speech sounds as proximate causes of reading failure: a functional magnetic resonance imaging study of dyslexic children. *Brain* 133, 868-879, doi:10.1093/brain/awp308 (2010).
 36. van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R. & Blomert, L. Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron* 43, 271-282, doi:10.1016/j.neuron.2004.06.025 (2004).
 37. Blomert, L. The neural signature of orthographic-phonological binding in successful and failing reading development. *Neuroimage* 57, 695-703, doi:10.1016/j.neuroimage.2010.11.003 (2011).
 38. Richlan, F. The functional neuroanatomy of letter-speech sound integration and its relation to brain abnormalities in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience* 13, 1-8, doi:10.3389/fnhum.2019.00021 (2019).
 39. Froyen, D. J. W., Bonte, M. L., van Atteveldt, N. & Blomert, L. The long road to automation: neurocognitive development of letter-speech sound processing. *J. Cogn. Neurosci.* 21, 567-580, doi:10.1162/jocn.2009.21061 (2009).
 40. Livingstone, M. & Hubel, D. Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science* 240, 740-749, doi:10.1126/science.3283936 (1988).
 41. Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintun, M. & Raichle, M. E. Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature* 331, 585-589, doi:10.1038/331585a0 (1988).
 42. Cohen, L. & Dehaene, S. Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *Neuroimage* 22, 466-476, doi:10.1016/j.neuroimage.2003.12.049 (2004).
 43. Cohen, L. et al. Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain* 125, 1054-1069, doi:10.1093/brain/awf094 (2002).
 44. McCandliss, B. D., Cohen, L. & Dehaene, S. The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus.

- Trends in Cognitive Sciences 7, 293-299, doi:10.1016/S1364-6613(03)00134-7 (2003).
45. Glezer, L. S., Jiang, X. & Riesenhuber, M. Evidence for highly selective neuronal tuning to whole words in the "visual word form area". *Neuron* 62, 199-204, doi:10.1016/j.neuron.2009.03.017 (2009).
 46. Dehaene, S. & Cohen, L. The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences* 15, 254-262, doi:10.1016/j.tics.2011.04.003 (2011).
 47. Wandell, B. A., Rauschecker, A. M. & Yeatman, J. D. Learning to see words. *Annu. Rev. Psychol.* 63, 31-53, doi:10.1146/annurev-psych-120710-100434 (2012).
 48. Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C. & Anderson, A. W. Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nat. Neurosci.* 3, 191-197, doi:10.1038/72140 (2000).
 49. Brem, S. et al. Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 7939-7944, doi:10.1073/pnas.0904402107 (2010).
 50. Centanni, T. et al. Early development of letter specialization in left fusiform is associated with better word reading and smaller fusiform face area. *Developmental Science* 21, e12658, doi:10.1111/desc.12658 (2018).
 51. Shaywitz, B. A. et al. Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biol. Psychiatry* 52, 101-110, doi:10.1016/S0006-3223(02)01365-3 (2002).
 52. Coch, D. & Meade, G. N1 and P2 to words and wordlike stimuli in late elementary school children and adults. *Psychophysiology* 53, 115-128, doi:10.1111/psyp.12567 (2016).
 53. Eddy, M. D., Grainger, J., Holcomb, P. J., Mitra, P. & Gabrieli, J. D. E. Masked priming and ERPs dissociate maturation of orthographic and semantic components of visual word recognition in children. *Psychophysiology* 51, 136-141, doi:10.1111/psyp.12164 (2014).
 54. Brem, S. et al. Evidence for developmental changes in the visual word processing network beyond adolescence. *Neuroimage* 29, 822-837, doi:10.1016/j.neuroimage.2005.09.023 (2006).
 55. Boden, C. & Giaschi, D. M-stream deficits and reading-related visual processes in developmental dyslexia. *Psychol. Bull.* 133, 346-366, doi:10.1037/0033-2909.133.2.346 (2007).
 56. Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C. A., Pesetsky, D. & Seidenberg, M. S. How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science in the Public Interest* 2, 31-74, doi:10.1111/1529-1006.00004 (2001).
 57. Blythe, H. I. Developmental changes in eye movements and visual information encoding associated with learning to read. *Current Directions in Psychological Science* 23, 201-207, doi:10.1177/0963721414530145 (2014).
 58. Rayner, K. Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *J. Exp. Child Psychol.* 41, 211-236, doi:10.1016/0022-0965(86)90037-8 (1986).
 59. Jordan, T. R. et al. Reading direction and the central perceptual span: evidence from Arabic and English. *Psychonomic Bulletin & Review* 21, 505-511, doi:10.3758/s13423-013-0510-4 (2014).
 60. Wandell, B. A. The neurobiological bases of seeing words. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1224, 63-80, doi:10.1111/j.1749-6632.2010.05954.x (2011).
 61. Goodman, K. S. & Goodman, Y. M. Learning to read is natural. In *Theory and practice of early reading* Vol. 1 (eds L.B. Resnick & P.A. Weaver) 137-154 (Erlbaum, 1979).
 62. Street, B. Learning to read from a social practice view: ethnography, schooling and adult learning. *Prospects*, 46, 335-344, doi:10.1007/s11125-017-9411-z (2016)