



## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Correlato neural de la lectura en bilingües

Alioth Guerrero-Aranda\*, Fabiola Reveca Gómez-Velázquez  
y Andrés Antonio González-Garrido



*Laboratorio de Neurofisiología Clínica, Instituto de Neurociencias del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México*

Recibido el 11 de mayo de 2018; aceptado el 30 de octubre de 2018

Disponible en Internet el 24 de noviembre de 2018

### PALABRAS CLAVE

Proceso lector;  
Señal BOLD;  
Edad de adquisición;  
Transparencia  
ortográfica

**Resumen** Este artículo no pretende realizar una revisión sistemática ni completa de la literatura, sino que tiene como objetivo ofrecer una visión crítica por parte de los autores, acerca de la organización funcional cerebral durante la lectura en personas bilingües. Primeramente se presenta un análisis crítico de diferentes propuestas teóricas acerca del proceso lector, haciendo particular énfasis en el modelo de doble ruta en cascada por ser el más influyente. Luego se analizan las principales propuestas teóricas acerca del sustrato neurobiológico basado fundamentalmente en estudios de imágenes funcionales. Se extraen los principales factores que influyen sobre este correlato neural durante la lectura en bilingües y se presentan los hallazgos de los estudios más recientes. Finalmente, se hace un análisis crítico acerca de las principales limitaciones de las investigaciones en este tema y se describen los retos y líneas de investigación futuras que el campo tiene por delante.

© 2018 Universitat de Barcelona. Published by Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

### KEYWORDS

Reading process;  
BOLD signal;  
Age of acquisition;  
Orthographic  
transparency

### Neural correlate of reading in bilinguals

**Abstract** This paper does not intend to carry out a systematic or complete review of the literature, but rather aims to offer a critical view by the authors about the functional brain organization during reading in bilinguals. Firstly, a critical analysis of different theoretical proposals about the reading process is presented, with particular emphasis on the Dual-Route Cascade Model for being the most influential theory in the field. Then, we analyze the main theoretical proposals about the neurobiological substrate based mainly on functional neuroimage studies. The main factors that influence this neural correlate during reading in bilinguals are extracted and the findings regarding them of the most recent studies are presented. Finally, a critical analysis is made about the main limitations of the research on this topic and challenges and future research lines in the field are discussed.

© 2018 Universitat de Barcelona. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [aliothga84@gmail.com](mailto:aliothga84@gmail.com) (A. Guerrero-Aranda).

## Introducción

La lectura es un proceso cognitivo complejo que incluye el análisis visual de lo que está escrito, implica reconocer la forma de la palabra y la conversión de una cadena de símbolos o grafemas en una sucesión particular de sonidos (de la ortografía a la fonología) en relación con un significado. Este proceso de lectura es universal, sin embargo, muestra variaciones en función de las características específicas de cada idioma y en cada nivel del proceso (Perfetti y Liu, 2005). La lectura, al igual que muchas otras habilidades humanas, requiere de la actividad conjunta e integrada de un grupo de regiones cerebrales, por lo que un objetivo fundamental de las investigaciones neuroimágenes sobre el procesamiento del lenguaje ha sido entender los mecanismos cerebrales que subyacen a nuestra habilidad para leer (Guàrdia-Olmos, Peró-Cebollero, Zarabozo-Hurtado, González-Garrido y Gudayol-Ferré, 2015; Schlaggar y McCandliss, 2007).

Dos décadas de investigación usando herramientas tecnológicas de neuroimagen han aclarado muchos aspectos sobre la anatomía funcional del procesamiento de las palabras y de la lectura. En particular, la resonancia magnética funcional (RMf) ha jugado un papel fundamental, gracias a su alta resolución espacial y a su naturaleza no invasiva (Logothetis, 2002). La RMf basada en la señal dependiente de oxígeno en sangre (BOLD, por sus siglas en inglés) no es una medida directa de la actividad neural o metabólica, sino que mide los cambios magnéticos debidos a la demanda metabólica neural, la cual está relacionada con el incremento en el flujo sanguíneo local como resultado de la participación específica de ciertas regiones cerebrales durante una función cognitiva (Huettel, Song y McCarthy, 2004).

Numerosos estudios con RMf han investigado los circuitos cerebrales que subyacen a la lectura. Estas investigaciones parecen converger en dos puntos: el primero es que el hemisferio izquierdo juega un rol predominante en el proceso lector, y el segundo es que existe un circuito que está conformado por un grupo de áreas corticales divididas fundamentalmente en dos vías. La vía dorsal incluye las cortezas fusiforme, supramarginal, angular y porción opercular del lóbulo frontal inferior, mientras que la vía ventral incluye también al área fusiforme pero esta vez junto con las áreas temporales (inferior y media) y la porción triangular del área frontal inferior (Carreiras, Armstrong, Perea y Frost, 2014; González-Garrido, Barrios, Gómez-Velázquez y Zarabozo-Hurtado, 2017). Basándose en estos datos, algunos autores han sugerido un modelo de lectura en el que las palabras pueden ser procesadas por una de estas dos vías en dependencia de sus características o de la tarea que se deba realizar (Pugh et al., 2001; Sandak, Mencl, Frost y Pugh, 2009).

Específicamente, este modelo propone que la corteza fusiforme izquierda es la principal responsable de la identificación de las palabras (Cohen et al., 2002). Es decir, cuando se presentan palabras muy conocidas, esta región cortical activa las representaciones en memoria correspondientes a la ortografía de esas palabras. Sin embargo, cuando se presenta una palabra nueva, para la cual no existe una representación ortográfica en memoria, esta tiene que ser decodificada fonológicamente por el lector. En este caso, la

palabra parece ser procesada por las cortezas supramarginal y angular, pertenecientes a la vía dorsal, las cuales integran las reglas ortográficas, fonológicas y léxico-semánticas. Adicionalmente, se sugiere que la corteza frontal inferior brinda un análisis más detallado, apoyando el proceso articulatorio de la palabra o el «ensamblaje fonológico» (Pugh et al., 2001). Esta última región cortical se cree que actúa en consonancia con la vía dorsal permitiendo el desarrollo de la vía ventral en la medida en que se automatiza la lectura. Es decir, durante el aprendizaje de la lectura, las regiones corticales de la vía dorsal integran las características ortográficas y fonológicas de las palabras, mientras transfieren estas características a otras áreas corticales léxico-semánticas más distribuidas (cortezas temporal inferior y media), permitiendo que se desarrolle un área occipitotemporal (corteza fusiforme izquierda) «sintonizada fonológicamente» para la identificación automática de la palabra. Una vez que el aprendizaje mejora, esta corteza fusiforme depende más de un procesamiento léxico-semántico en las cortezas temporal inferior y media que facilita la emergencia de una identificación rápida de la palabra por la vía ventral (Pugh et al., 2001; Sandak et al., 2009).

Actualmente, se estima que existen aproximadamente 7.000 idiomas y dialectos en todo el mundo y una gran parte de estos cuentan con su propio sistema de escritura (Lewis, Simons y Fennig, 2018). Una gran parte de los hallazgos reportados en la literatura converge en ciertos aspectos, como se mencionó previamente, aunque el estado actual del conocimiento acerca de la lectura está mayoritariamente confinado a hallazgos en poblaciones angloparlantes. Durante la última década se ha observado una ligera tendencia hacia el desarrollo de teorías generales de la lectura que vayan más allá del inglés (Perfetti, Liu y Tan, 2005), poniendo de manifiesto que existen diferencias fundamentales entre los idiomas. Por lo tanto, una comprensión completa de la lectura a nivel conductual y neurobiológico debe incluir a todos los lectores del mundo, así como a todos los sistemas de escritura, tanto en la adquisición de la lengua materna (L1) como en el desarrollo de sistemas adicionales. Dentro de este marco, una población que resulta particularmente interesante estudiar es la de aquellos individuos que dominan más de un idioma, con la intención de determinar cuán similares son los mecanismos neurales cuando se lee en diferentes lenguas.

Hoy en día se plantea que más de la mitad de la población mundial domina de forma básica al menos dos idiomas, convirtiendo al bilingüismo en un fenómeno muy prevalente (Grosjean, 2015). Por lo tanto, resulta intrigante saber cómo la organización cerebral se modifica ante la adquisición de un segundo idioma (L2); ya sea en función del momento de adquisición, cuando es aprendido temprano o tardíamente; o bien sea en función del tipo de sistema de escritura, más o menos transparente. El estudio de la organización funcional cerebral del dominio de una segunda lengua tiene implicaciones tanto teóricas como prácticas y esto ha provocado que se convierta en un área de investigación activa.

En las investigaciones neuroimágenes durante el procesamiento del lenguaje en bilingües la pregunta central siempre ha sido cuán diferentes son las activaciones neurales en el L1 y el L2, pero los resultados son controversiales. Existe evidencia de un circuito cortical común para L1 y L2 tanto a nivel del procesamiento de palabras simples

(Chee, Hon, Lee y Soon, 2001) como de oraciones (Yokoyama et al., 2006). Sin embargo, otros autores sugieren circuitos distintos para ambos idiomas (Huang, Itoh, Kwee y Nakada, 2012).

Es probable que la organización cerebral funcional durante la lectura en bilingües represente un *continuum* que va desde la utilización de un grupo de áreas corticales diferentes (acomodación) para cada uno de los idiomas, hasta la utilización de un solo grupo de áreas para ambos (asimilación). Basándose en este supuesto, algunos autores han formulado la teoría de asimilación-acomodación, que intenta descifrar cuáles son los factores que modulan este *continuum* (Perfetti et al., 2007). Hasta el momento, se conoce que varias características de los individuos pueden influir en su desempeño durante la ejecución de tareas relacionadas con la lectura, como por ejemplo, sus características socioeconómicas (Abreu, Cruz-Santos, Tourinho, Martin y Bialystok, 2012) y sus diferencias culturales (Chen, Zhou, Uchikoshi y Bunge, 2014). Sin embargo, los factores más estudiados y que explican en mayor medida la variabilidad entre los resultados de diferentes investigaciones son: el nivel de dominio de los idiomas que tiene el individuo (Archila-Suerte, Zevin y Hernandez, 2015), la edad a la que adquirió el L2 (Perani y Abutalebi, 2005) y el nivel de transparencia de cada uno de los idiomas que domina el individuo (Katz y Frost, 1992).

### Efecto del nivel de dominio sobre la lectura en bilingües

El nivel de dominio se considera un factor intrigante que parece influir en el patrón de activación del cerebro bilingüe. De forma general, el efecto del nivel de dominio que se ha reportado es que la lectura en el L2 está relacionada con una interconexión de áreas cerebrales (red neural) más extensa que la lectura en el L1, incluyendo pero no limitada a cortezas relacionadas con procesos atencionales (prefrontal izquierda y cingulada anterior), debido fundamentalmente a un menor dominio en el L2 con respecto al L1 (Sebastian, Laird y Kiran, 2011). Incluso, cuando se parea el nivel de dominio entre los individuos, algunos investigadores han encontrado mayor activación en redes atencionales durante el procesamiento en el L2 (Kovelman, Baker y Petitto, 2008). Por lo tanto, una diferencia fundamental entre el procesamiento del L1 y L2 sería la participación de las áreas corticales relacionadas con el control atencional durante la tarea en L2, aun cuando no sea completamente explicada por el nivel de dominio.

Otros estudios han investigado si tener un mayor dominio del L2 se relaciona con mayor asimilación o acomodación con respecto al L1. Existe evidencia de que un mayor dominio del L2 está relacionado con una mayor similitud con la activación cerebral de L1 durante una tarea de categorización semántica en un grupo de bilingües en inglés-alemán (Stein et al., 2009) y durante una tarea de rima de palabras escritas en un grupo de bilingües tardíos en chino-inglés (Cao, Tao, Liu, Perfetti y Booth, 2013). Mientras que por el contrario, otros estudios han arrojado evidencia acerca de una mayor acomodación cuando los individuos tienen mayor dominio del L2. Por ejemplo, Cao et al. (2013b) encontraron que un grupo de bilingües tardíos en inglés-chino, con alto dominio

en el L2, mostraron una mayor activación en el lóbulo parietal superior y el giro lingual —ambos del lado derecho—, cuando realizaron una tarea de decisión lexical en su L2. Estas regiones se han encontrado más involucradas en lectores en los cuales su L1 es el chino que en aquellos en los cuales su L1 es el inglés (Bolger, Perfetti y Schneider, 2005), sugiriendo que un mayor dominio en el L2 está relacionado con una mayor acomodación del nuevo idioma. En línea con esto, un estudio reciente en bilingües tardíos en chino-inglés encontró que un mayor dominio de L2 está caracterizado por una mayor conectividad entre los giros supramarginal y temporal superior izquierdos (Cao, Kim, Liu y Liu, 2014). Estas dos regiones se han encontrado más involucradas en lectores en los cuales su L1 es el inglés que en aquellos en los cuales su L1 es el chino (Cao, Brennan y Booth, 2015), probablemente porque la región temporoparietal está relacionada con el mapeo detallado entre ortografía y fonología, como ocurre en la conversión grafema-fonema durante la lectura (Booth et al., 2002). En resumen, los estudios anteriores han producido resultados controversiales acerca de si un alto dominio en el L2 está relacionado con una mayor similitud con el L1 o una mayor acomodación de la red neural participante.

### Efecto de la edad de adquisición sobre la lectura en bilingües

Otro factor importante que parece determinar el patrón de activación neural durante el procesamiento del L2, incluso cuando se parea el nivel de dominio entre los bilingües, es la edad a la que aprendieron este L2 o edad de adquisición (EA). De acuerdo con el concepto del periodo crítico, el aprendizaje tardío del L2 está asociado a un menor desempeño debido al descenso maduracional en la habilidad para adquirir un lenguaje y/o la interferencia entre los sistemas lingüísticos (Archila-Suerte et al., 2015). Aunque este descenso maduracional en la capacidad ha sido demostrado en la morfología, fonología, semántica y sintaxis en la adultez, el punto de corte ampliamente aceptado entre los bilingües tempranos y tardíos es la edad de 6 o 7 años (Perani et al., 2003).

La influencia de la EA sobre las similitudes o diferencias entre la red neural para el L1 o el L2 continúa siendo un tema controversial. Estudios neurocognitivos han documentado que los bilingües tempranos activan una red neural homogénea durante el procesamiento de L1 y L2 (Cherodath y Singh, 2015), mientras que los bilingües tardíos muestran una red más diferenciada para el L2 (Huang et al., 2012). En contraste con esto, también existe evidencia de que los bilingües tempranos se caracterizan por una red más diferenciada para L1 y L2 (Das, Padakannaya, Pugh y Singh, 2011), mientras que los bilingües tardíos muestran un solapamiento en las áreas activadas durante el procesamiento de ambos idiomas (Cao et al., 2013b).

A pesar de que se ha realizado un gran esfuerzo para saber cómo la EA del L2 influye en su propio patrón de activación, mucha menos atención se le ha prestado a cómo la EA del L2 influye en el procesamiento del L1 (Costa y Sebastián-Gallés, 2014). Por ejemplo, estudios recientes de neuroimágenes han sugerido que el procesamiento del L1 es más «permeable» que lo que se pensaba previamente, en

el sentido de que luego de la adquisición del L2, es posible que se modifique el patrón de activación durante el procesamiento del L1 (Mei et al., 2014; Mei et al., 2014; 2015).

Estos estudios mencionados previamente sugieren conclusiones contradictorias acerca de cómo la EA influye en la asimilación o acomodación de la anatomía funcional cerebral durante la lectura. Sin embargo, también existe evidencia que sugiere que la EA no juega ningún papel en este patrón de asimilación o acomodación. Por ejemplo, mediante una comparación directa entre bilingües tempranos y tardíos, algunos autores encontraron redes similares en ambos grupos durante el L1 y L2, sugiriendo que, tanto para los bilingües tempranos como para los tardíos, la asimilación es dominante (Yang, Tan y Li, 2011).

## Efecto de la transparencia ortográfica sobre la lectura en bilingües

Otro de los elementos que influye en el *continuum* de asimilación-acomodación y que ha ganado un poco más de atención en los últimos años es la naturaleza de los idiomas, específicamente la transparencia ortográfica. La transparencia de un idioma se refiere a la regularidad en su correspondencia grafema-fonema. Así tenemos al castellano, que es considerado como transparente ya que presenta una alta correspondencia letra-sonido (p. ej.: casa, paraguas, planta, en donde el grafema a, independientemente de su posición o la palabra en la que se encuentre, siempre representa el fonema /a/). Mientras que el idioma inglés, considerado como opaco, presenta una baja correspondencia letra-sonido (p. ej.: man, make, walk, en donde el grafema a representa tres fonemas distintos /æ/, /e/ y /ɔ:/).

La hipótesis de la profundidad ortográfica propone que las ortografías más transparentes pueden ser decodificadas de acuerdo con su correspondencia grafema-fonema en mayor grado que las ortografías opacas. En cambio, estas últimas necesitan de un procesamiento a nivel léxico-semántico para emparejar las características ortográficas de las palabras con su fonología almacenada en memoria (Katz y Frost, 1992). De acuerdo con esta hipótesis y en línea con los circuitos neurales propuestos previamente para la lectura, algunos autores, por un lado, sugieren que la lectura de un idioma transparente está asociada con la activación de las regiones de la vía dorsal (cortezas supramarginal, angular y temporal inferior izquierdas) que subyacen al procesamiento fonológico (Paulesu et al., 2000). Mientras que, por otro lado, los idiomas opacos están más relacionados con la vía ventral (cortezas temporal inferior y media) que subyacen al procesamiento lexical (Chen, Vaid, Bortfeld y Boas, 2008).

Más aun, estas diferencias han sido replicadas en estudios con bilingües. Por ejemplo, un estudio encontró que bilingües tempranos hindi-inglés mostraron una mayor activación en el giro supramarginal cuando leyeron en hindi (más transparente que el inglés) en comparación con una mayor actividad en el giro temporal inferior izquierdo cuando leyeron en inglés (Das et al., 2011). Otro estudio encontró que los bilingües español-inglés tuvieron mayor activación en el giro temporal superior durante el procesamiento en español (más

transparente que el inglés), en contraste con una mayor actividad en el giro frontal medio izquierdo durante el procesamiento en inglés (Jamal, Piche, Napoliello, Perfetti y Eden, 2012).

Adicionalmente, parece ser que la transparencia ortográfica del L1 y L2 no solo influye en sus respectivas activaciones, sino que también influye en cuán similares o diferentes pueden ser sus redes neurales. Por ejemplo, algunos autores han observado que cuando el L2 es más transparente que el L1, como en el caso de los bilingües chino-inglés, el L2 podría ser procesado usando la red del L1 sin mucha más acomodación (Cao et al., 2013b), mientras que cuando el L2 es más opaco que el L1, como en el caso de los bilingües español-inglés, el procesamiento del L2 se asocia con un involucramiento significativo de áreas adicionales (Jamal et al., 2012).

## Limitaciones actuales y retos futuros

Hace apenas seis años se produjo un debate muy interesante acerca de la existencia de características fundamentales e invariantes de la lectura independientemente del idioma en cuestión (Frost, 2012). En este trabajo, la intención original del autor era realizar un llamado de advertencia acerca de los nuevos modelos computacionales de lectura que se estaban desarrollando. Sin embargo, su propuesta era que los modelos de lectura debían enfocarse en las características invariantes de todos los sistemas de escrituras y no en características específicas de solo algunos de ellos (Frost, 2012). Vale la pena aclarar que «sistema de escritura» no significa lo mismo que idioma, entendiéndose por el primero cualquier sistema mediante el cual un grupo de símbolos visuales puedan ser utilizados para expresar significados y pronunciaciones (Frost, 1998). Este reclamo del autor provocó numerosos comentarios y críticas. Por ejemplo, Coltheart y Crain (2012), entre muchos otros (Levy, 2012; Plaut, 2012; Share, 2012), argumentaron que no había justificación alguna para plantear la existencia de características universales de la lectura para todos los sistemas de escritura. Más aun, tampoco había justificación para plantear características comunes en el procesamiento cognitivo de los lectores de todos los sistemas de escrituras. Ante tales argumentos, surge la pregunta: ¿entonces por qué buscar los mecanismos cerebrales «generales» que subyacen a la lectura?

Cuando se revisa la literatura, la mayoría de los estudios interesados en describir el correlato neural de la lectura se han basado en el fundamento teórico de uno de los modelos más influyentes desde el surgimiento de esta área de investigación, el modelo de doble ruta en cascada (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon y Ziegler, 2001). Sin embargo, este modelo se desarrolló fundamentalmente a partir de estudios acerca de la identificación de palabras en inglés. Más aun, otros modelos que pudieran extenderse más allá del inglés continúan siendo esencialmente modelos de lectura en sistemas de escrituras alfabeticos (Berent y Perfetti, 1995; Jacobs, Rey, Ziegler y Grainger, 1998). Actualmente, la investigación en lectura en sistemas de escrituras no alfabeticos (p. ej., chino) ha acumulado suficiente evidencia para sugerir ciertas diferencias acerca del uso de la fonología entre el chino y el inglés (Perfetti et al., 2005). Por ejemplo,

en el caso del inglés, la fonología se activa a partir de la ortografía en forma de cascada, mientras que en el chino se activa en forma de umbral. También, en el inglés siempre existen unidades sublexicales, mientras que en el chino un grafema puede comportarse como una unidad (sublexical) o como un todo (lexical). Adicionalmente, el acceso fonológico en inglés puede ser prelexical y además la fonología puede mediar (dar lugar a) el significado, mientras que en el chino los conceptos «prelexical» y «mediar» no son coherentes con su procesamiento (para mayor comprensión de las diferencias entre estos sistemas de escrituras, remitirse al artículo original de [Perfetti et al., 2005](#)). Por lo tanto, resultaría contraproducente investigar los mecanismos neurales que subyacen a la lectura tomando como fundamento teórico un modelo que no se adhiere a su sistema de escritura. A pesar de esto, no son pocos los autores que intentan describir la vía ventral y la dorsal durante la lectura de palabras tanto en bilingües como en monolingües chinos ([Lu, Zhou y Tang, 2008](#)). Incluso, [Jobard, Crivello y Tzourio-Mazoyer \(2003\)](#) realizaron un metaanálisis de estudios de neuroimágenes en lectura con el objetivo de demostrar la idoneidad del modelo de doble ruta e incluyeron numerosos estudios en poblaciones hablantes de sistemas de escrituras no alfabeticos.

Otro de los elementos que hoy día no logra encontrar consistencia entre los estudios de lectura es el tipo de tarea experimental utilizada. Existe abundante evidencia que demuestra que los resultados en la mayor parte de los experimentos en neurociencias cognitivas son dependientes del tipo de tarea, aun cuando se trate del mismo componente cognitivo ([Paap, Johnson y Sawi, 2015](#)). Por ejemplo, es posible evaluar la lectura mediante el uso de palabras o mediante el uso de oraciones. También es posible evaluarla mediante lectura en voz alta o lectura en silencio. Sin embargo, estas tareas arrojan resultados diferentes en mayor o menor grado a pesar de que todas están evaluando lectura. En este sentido, tenemos que algunos autores han incluido tareas de producción oral en las que los sujetos tienen que denominar palabras ([Klein, Watkins, Zatorre y Milner, 2006](#)) o imágenes ([van de Putte, de Baene, Brass y Duyck, 2017](#)), mientras que otros han utilizado tareas de categorización semántica ([Kovelman, Shalinsky, Berens y Petitto, 2008](#)). Más aun, algunos autores que se han enfocado más en la lectura *per se* han utilizado diferentes tareas. Por ejemplo, [Meschyan y Hernandez \(2006\)](#) utilizaron una tarea de lectura en silencio, mientras que [Jamal et al. \(2012\)](#) utilizaron una de detección de letras con rasgos salientes durante la lectura de palabras, (p. ej., si las palabras presentadas tenían una «l», «d», «t», etc.). Incluso, estos últimos autores sugirieron que las diferencias encontradas en los patrones de activación neural con respecto al estudio de [Meschyan y Hernandez \(2006\)](#) podían estar en relación con las diferencias en la tarea ([Jamal et al., 2012](#)).

Por último, aunque mucho se ha estudiado acerca de las regiones corticales involucradas en la lectura, mucho menos se conoce acerca de cómo estas regiones están interconectadas ([Arrington, Kulesz, Juraneck, Cirino y Fletcher, 2017](#)). Actualmente se sabe bastante poco acerca de la relación entre la integridad de los tractos de sustancia blanca y la lectura. Es decir, si bien los estudios recientes sugieren que el «cableado» de sustancia blanca es una parte integral de esta red neural, aún existe una laguna en el conocimiento

acerca de la relación de cada uno de los tractos implicados y la eficiencia, fluidez y comprensión lectora.

## Conclusión

Como se ha argumentado en otros momentos, la lectura es una habilidad filogenéticamente nueva y, por lo tanto, no está del todo claro si las regiones relacionadas con la lectura se dedican solamente a ello o si cubren demandas de procesamiento más general ([Schlaggar y McCandliss, 2007](#)). Lo cierto es que a pesar del gran número de investigaciones interesadas en desentrañar el misterio de la organización cerebral que subyace a la lectura, continúa siendo una tarea difícil obtener una imagen clara acerca de las regiones cerebrales involucradas en el procesamiento visual de las palabras. Las investigaciones en aquellas poblaciones con individuos que dominan más de un idioma podrían iluminar un poco el camino a seguir; fundamentalmente estudiando mejor el papel que juegan los diferentes factores que modulan el dinamismo de una compleja y extensa red neural, que cada vez parece más de uso general que específicamente desarrollada para sustentar la lectura.

## Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existió conflicto de interés.

## Bibliografía

- Archila-Suerte, P., Zevin, J. y Hernandez, A. E. (2015). The effect of age of acquisition, socioeducational status, and proficiency on the neural processing of second language speech sounds. *Brain and Language*, 141, 35–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2014.11.005>
- Berent, I. y Perfetti, C. A. (1995). A rose is a REEZ: The two-cycles model of phonology assembly in reading english. *Psychological Review*, 102(1), 146–184. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.102.1.146>
- Bolger, D. J., Perfetti, C. A. y Schneider, W. (2005). Cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation. *Human Brain Mapping*, 25, 92–104. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.20124>
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B. y Mesulam, M. M. (2002). Functional anatomy of intra- and cross-modal lexical tasks. *NeuroImage*, 16(1), 7–22. <http://dx.doi.org/10.1006/nimg.2002.1081>
- Cao, F., Brennan, C. y Booth, J. R. (2015). The brain adapts to orthography with experience: Evidence from English and Chinese. *Developmental Science*, 18(5), 785–798. <http://dx.doi.org/10.1111/desc.12245>
- Cao, F., Kim, S. Y., Liu, Y. N. y Liu, L. (2014). Similarities and differences in brain activation and functional connectivity in first and second language reading: Evidence from Chinese learners of English. *Neuropsychologia*, 63, 275–284. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.09.001>
- Cao, F., Tao, R., Liu, L., Perfetti, C. A. y Booth, J. R. (2013). High proficiency in a second language is characterized by greater involvement of the first language network: Evidence from Chinese learners of English. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(10), 1649–1663. [http://dx.doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00414](http://dx.doi.org/10.1162/jocn_a_00414)
- Cao, F., Vu, M., Lung Chan, D. H., Lawrence, J. M., Harris, L. N., Guan, Q. y ... Perfetti, C. A. (2013). Writing affects the brain network of reading in Chinese: A functional magnetic reso-

- nance imaging study. *Human Brain Mapping*, 34(7), 1670–1684. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.22017>
- Carreiras, M., Armstrong, B. C., Perea, M. y Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(2), 90–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.005>
- Chee, M. W., Hon, N., Lee, H. L. y Soon, C. S. (2001). Relative language proficiency modulates BOLD signal change when bilinguals perform semantic judgments. *Blood oxygen level dependent*. *NeuroImage*, 13(6 Pt 1), 1155-1163. <http://dx.doi.org/10.1006/ning.2001.0781>
- Chen, H. C., Vaid, J., Bortfeld, H. y Boas, D. A. (2008). Optical imaging of phonological processing in two distinct orthographies. *Experimental Brain Research*, 184(3), 427–433. <http://dx.doi.org/10.1007/s00221-007-1200-0>
- Chen, S. H., Zhou, Q., Uchikoshi, Y. y Bunge, S. A. (2014). Variations on the bilingual advantage? Links of Chinese and English proficiency to Chinese American children's self-regulation. *Frontiers in Psychology*, 5, 1069. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01069>
- Cherodath, S. y Singh, N. C. (2015). The influence of orthographic depth on reading networks in simultaneous biliterate children. *Brain and Language*, 143, 42–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2015.02.001>
- Cohen, L., Lehéricy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S. y Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125(5), 1054–1069. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/awf094>
- Coltheart, M. y Crain, S. (2012). Are there universals of reading? We don't believe so. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 282–283. <http://dx.doi.org/10.1017/S0140525X12000155>
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R. y Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204–256. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.108.1.204>
- Costa, A. y Sebastián-Gallés, N. (2014). How does the bilingual experience sculpt the brain? Nature reviews. *Neuroscience*, 15(5), 336–345. <http://dx.doi.org/10.1038/nrn3709>
- Das, T., Padakannaya, P., Pugh, K. R. y Singh, N. C. (2011). Neuroimaging reveals dual routes to reading in simultaneous proficient readers of two orthographies. *NeuroImage*, 54(2), 1476–1487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.022>
- Engel de Abreu, P. M. J., Cruz-Santos, A., Tourinho, C. J., Martin, R. y Bialystok, E. (2012). Bilingualism enriches the poor: Enhanced cognitive control in low-income minority children. *Psychological Science*, 23(11), 1364–1371. <http://dx.doi.org/10.1177/0956797612443836>
- Frost, R. (1998). Toward a strong phonological theory of visual word recognition: True issues and false trails. *Psychological Bulletin*, 123(1), 71–99. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.123.1.71>
- Frost, R. (2012). Towards a universal model of reading. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5h), 263–279. <http://dx.doi.org/10.1017/S0140525X11001841>
- González-Garrido, A. A., Barrios, F. A., Gómez-Velázquez, F. R. y Zarabozo-Hurtado, D. (2017). The supramarginal and angular gyri underlie orthographic competence in Spanish language. *Brain and Language*, 175, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2017.08.005>
- Grosjean, F. (2015). Bicultural bilinguals. *International Journal of Bilingualism*, 19(5), 572–586. <http://dx.doi.org/10.1177/1367006914526297>
- Guàrdia-Olmos, J., Peró-Cebollero, M., Zarabozo-Hurtado, D., González-Garrido, A. A. y Gudayol-Ferré, E. (2015). Effective connectivity of visual word recognition and homophone orthographic errors. *Frontiers in Psychology*, 6, 640. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00640>
- Huang, K., Itoh, K., Kwee, I. L. y Nakada, T. (2012). Neural strategies for reading Japanese and Chinese sentences: A cross-linguistic fMRI study of character-decoding and morphosyntax. *Neuropsychologia*, 50(11), 2598–2604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.011>
- Huettel, S. A., Song, A. W. y McCarthy, G. (2004). *Functional magnetic resonance imaging*. Sinauer Associates.
- Jacobs, A. M., Rey, A., Ziegler, J. C., Grainger, J., Grainger, J. y Jacobs, A. M. (1998). MROM-p: An interactive activation, multiple readout model of orthographic and phonological processes in visual word recognition. In *Localist connectionist approaches to human cognition*. pp. 147–188. New York: Psychology Press.
- Jamal, N. I., Piche, A. W., Napoliello, E. M., Perfetti, C. A. y Eden, G. F. (2012). Neural basis of single-word reading in Spanish-English bilinguals. *Human Brain Mapping*, 33(1), 235–245. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.21208>
- Jobard, G., Crivello, F. y Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: A metanalysis of 35 neuroimaging studies. *NeuroImage*, 20(2), 693–712. [http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00343-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00343-4)
- Katz, L. y Frost, R. (1992). Chapter 4. The reading process is different for different orthographies: The orthographic depth hypothesis. *Advances in Psychology*, 94, 67–84. [http://dx.doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62789-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62789-2)
- Klein, D., Watkins, K. E., Zatorre, R. J. y Milner, B. (2006). Word and nonword repetition in bilingual subjects: A PET study. *Human Brain Mapping*, 27(2), 153–161. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.20174>
- Kovelman, I., Baker, S. A. y Petitto, L. A. (2008). Bilingual and monolingual brains compared: A functional magnetic resonance imaging investigation of syntactic processing and a possible «neural signature» of bilingualism. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(1), 153–169. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2008.20011>
- Kovelman, I., Shalinsky, M. H., Berens, M. S. y Petitto, L. A. (2008). Shining new light on the brain's «bilingual signature»: A functional near infrared spectroscopy investigation of semantic processing. *NeuroImage*, 39(3), 1457–1471. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.10.017>
- Levy, Y. (2012). No reason to expect «reading universals». *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 293. <http://dx.doi.org/10.1017/S0140525X12000088>
- Lewis, M. P., Simons, G. F. y Fenning, C. D. (2018). Ethnologue: Languages of the world. 21st edition. Online version. <http://www.ethnologue.com>.
- Logothetis, N. K. (2002). The neural basis of the blood-oxygen-level-dependent functional magnetic resonance imaging signal. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 357(1424), 1003–1037. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2002.1114>
- Lu, Q., Zhou, L. y Tang, Y.-Y. (2008). The dual route model in Chinese-English bilinguals. *BMC Neuroscience*, 9(Suppl. 1), 156. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2202-9-s1-p156>
- Mei, L., Xue, G., Lu, Z. L., Chen, C., Zhang, M., He, Q., y ... Dong, Q. (2014). Learning to read words in a new language shapes the neural organization of the prior languages. *Neuropsychologia*, 65, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.10.019>
- Mei, L., Xue, G., Lu, Z. L., Chen, C., Wei, M., He, Q. y Dong, Q. (2015). Long-term experience with Chinese language shapes the fusiform asymmetry of English reading. *NeuroImage*, 110, 3–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.01.030>
- Meschyan, G. y Hernandez, A. E. (2006). Impact of language proficiency and orthographic transparency on bilingual word reading: An fMRI investigation. *NeuroImage*, 29(4), 1135–1140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.08.055>
- Nikki Arrington, C., Kulesz, P. A., Juranek, J., Cirino, P. T. y Fletcher, J. M. (2017). White matter microstructure integrity in relation to reading proficiency. *Brain and Language*, 174, 103–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandl.2017.08.002>

- Paap, K. R., Johnson, H. A. y Sawi, O. (2015). Bilingual advantages in executive functioning either do not exist or are restricted to very specific and undetermined circumstances. *Cortex*, 69, 265–278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2015.04.014>
- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F. y ... Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience*, 3(1), 91–96. <http://dx.doi.org/10.1038/71163>
- Perani, D. y Abutalebi, J. (2005). The neural basis of first and second language processing. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 202–206. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.007>
- Perani, D., Abutalebi, J., Paulesu, E., Brambati, S., Scifo, P., Cappa, S. F. y Fazio, F. (2003). The role of age of acquisition and language usage in early, high-proficient bilinguals: An fMRI study during verbal fluency. *Human Brain Mapping*, 19(3), 170–182. <http://dx.doi.org/10.1002/hbm.10110>
- Perfetti, C. A. y Liu, Y. (2005). Orthography to phonology and meaning: Comparisons across and within writing systems. *Reading and Writing*, 18(3), 193–210. <http://dx.doi.org/10.1007/s11145-004-2344-y>
- Perfetti, C. A., Liu, Y., Fiez, J., Nelson, J., Bolger, D. J. y Tan, L. H. (2007). Reading in two writing systems: Accommodation and assimilation of the brain's reading network. *Bilingualism: Language and Cognition*, 10(2), 131–146. <http://dx.doi.org/10.1017/S1366728907002891>
- Perfetti, C. A., Liu, Y. y Tan, L. H. (2005). The lexical constituency model: Some implications of research on Chinese for general theories of reading. *Psychological Review*, 112(1), 43–59. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.112.1.43>
- Plaut, D. C. (2012). Giving theories of reading a sporting chance. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 301–302. <http://dx.doi.org/10.1017/S0140525X12000301>
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R. y ... Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders*, 34(6), 479–492. [http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9924\(01\)00060-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0021-9924(01)00060-0)
- Sandak, R., Mencl, E. W., Frost, S. J. y Pugh, K. R. (2009). The neurobiological basis of skilled and impaired reading: Recent findings and new directions. *Scientific Studies of Reading*, 8(3), 273–292. [http://dx.doi.org/10.1207/s1532799xssr0803\\_6](http://dx.doi.org/10.1207/s1532799xssr0803_6)
- Schlaggar, B. L. y McCandliss, B. D. (2007). Development of neural systems for reading. *Annual Review of Neuroscience*, 30(1), 475–503. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.neuro.28.061604.135645>
- Sebastian, R., Laird, A. R. y Kiran, S. (2011). Meta-analysis of the neural representation of first language and second language. *Applied Psycholinguistics*, 32(4), 799–819. <http://dx.doi.org/10.1017/S0142716411000075>
- Share, D. L. (2012). Frost and fogs, or sunny skies? Orthography, reading, and misplaced optimism. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 307–308. <http://dx.doi.org/10.1017/S0140525X12000271>
- Stein, M., Federspiel, A., Koenig, T., Wirth, M., Lehmann, C., Wiest, R. y Dierks, T. (2009). Reduced frontal activation with increasing 2nd language proficiency. *Neuropsychologia*, 47(13), 2712–2720. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.05.023>
- Van de Putte, E., de Baene, W., Brass, M. y Duyck, W. (2017). Neural overlap of L1 and L2 semantic representations in speech: A decoding approach. *NeuroImage*, 162, 106–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.08.082>
- Yang, J., Tan, L. H. y Li, P. (2011). Lexical representation of nouns and verbs in the late bilingual brain. *Journal of Neurolinguistics*, 24(6), 674–682. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneuroling.2011.07.002>
- Yokoyama, S., Okamoto, H., Miyamoto, T., Yoshimoto, K., Kim, J., Iwata, K. y Kawashima, R. (2006). Cortical activation in the processing of passive sentences in L1 and L2: An fMRI study. *NeuroImage*, 30(2), 570–579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.09.066>