

Participación Educativa

REVISTA DEL CONSEJO
ESCOLAR DE ESTADO

Ministerio
de Educación, Cultura
y Deporte

Consejo
Escolar
del Estado

**La investigación sobre el cerebro y la
mejora de la educación**

Segunda Época/Vol. 1/N.º 1/2012

Artículo

**‘Lectura y dislexia: un viaje
desde la Neurociencia’**

Manuel Carreiras



Manuel Carreiras

Basque Center on Cognition, Brain and Language (BCBL), Donostia, San Sebastián.

IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, Bilbao (www.bcbl.eu)

Resumen

Comprender el fracaso escolar es un reto que probablemente no está a nuestro alcance en estos momentos, porque sus causas son múltiples y variadas. La lectura, habilidad instrumental sobre la que se asienta una buena parte del edificio educativo, es una de ellas. La neurociencia cognitiva puede ayudar a clarificar las causas de las dificultades lectoras y a diseñar nuevos métodos de intervención basados en un conocimiento científico y riguroso sobre el funcionamiento del sistema cognitivo y de las redes cerebrales que lo sustentan. Además, puede ayudar a delimitar qué factores posibilitan un desarrollo típico y una escolarización exitosa para mejorar la educación. La programación de contenidos y actividades en la escuela debería tener en cuenta cómo funcionan los procesos de asimilación y consolidación de la información en los niños y cómo cambian sus redes neuronales con el aprendizaje. Finalmente, puede ayudarnos a determinar qué factores neuro-cognitivos predicen con antelación diferencias individuales en el aprendizaje y dominio de ciertas habilidades como la lectura, y por tanto a anticipar posibles problemas y recomendar acciones de mejora que permitan sentar las bases de un aprendizaje eficaz.

Palabras clave: lectura, dislexia, neurociencia cognitiva, aprendizaje.

Abstract

Understanding school failure is probably not an easy challenge to address nowadays, due to the multiple causes of this problem. However, problems with reading, which is an instrumental ability underlying education, is one of the principle causes. Cognitive neuroscience may help to clarify the underlying causes of reading disabilities and to design new intervention methods based on scientific and rigorous knowledge of how the cognitive system and the underlying brain networks operate. In addition, it may help to delineate the factors that allow typical development and successful schooling, and thus to improve education. The programming of content and activities in schools should take into account how processes of assimilation and consolidation of information work in children and how their brain networks change with learning. Finally, research in cognitive neuroscience may help to determine what neuro-cognitive factors predict individual differences in learning abilities such as reading, and therefore anticipate potential problems and make recommendations for improving the learning process.

Keywords: reading, dyslexia, cognitive neuroscience, learning.

1. Introducción

La educación hoy en día no es un privilegio, sino un derecho de los ciudadanos. De acuerdo con los informes PISA, la educación necesita mejoras urgentes en España. Además, debe enfrentarse con desafíos como la intervención específica ante trastornos y dificultades del aprendizaje, especialmente en habilidades instrumentales como la lectura o el cálculo matemático, o los cambios en el aprendizaje a través de las nuevas tecnologías, o la integración de los inmigrantes en el aula. España es uno de los países de la OCDE con más fracaso escolar, ocupando el número 23 en un *ranking* de 26 países de la OCDE en cuanto al abandono escolar sin finalizar la educación secundaria obligatoria. Más del 30% de los estudiantes abandonan la escuela antes de acabar la enseñanza secundaria obligatoria. Esto supone un problema grave, dado que los informes de la OCDE indican claramente que los jóvenes con mayor educación tienen más posibilidades de obtener trabajo y mejores salarios. Por otra parte, aproximadamente entre el 10 y el 15% de la población sufre dificultades de aprendizaje, lo cual requiere una atención especial, máxime si esas dificultades se muestran en alguna de las habilidades instrumentales para el proceso de aprendizaje, como son la lectura o el cálculo matemático, que son otra fuente potencial de fracaso escolar. Por último, mientras que la diversidad cultural incrementa nuestra experiencia y conocimiento del mundo y promueve actitudes positivas hacia los otros, los profesores tienen en clase a niños con distintos grados de adquisición del español y con un bagaje muy diverso, lo que aumenta el riesgo de fracaso escolar de esta población. El número de estudiantes inmigrantes se ha multiplicado en los últimos años y ya supera el 6% en educación primaria y secundaria, y en algunas zonas, el porcentaje de niños

inmigrantes en el aula es del 60%. La neurociencia cognitiva puede ayudar a mejorar la situación y a paliar el fracaso escolar informando sobre cómo nuestro cerebro procesa información durante el aprendizaje de procedimientos y contenidos para que sea tenido en cuenta por el profesorado y por los diseñadores de políticas científicas.

2. El aprendizaje y sus mecanismos neuro-cognitivos

La educación y el aprendizaje están íntimamente relacionados con los mecanismos de desarrollo neuronal. Por ello, las políticas educativas pueden beneficiarse de los nuevos hallazgos en el campo de la neurociencia cognitiva sobre los mecanismos de adquisición del conocimiento. Es importante explotar los recientes avances teóricos y tecnológicos en este campo multidisciplinar, dado que ofrecen a los padres, a los profesores y a los investigadores de la educación la posibilidad de entender dónde, cuándo, y cómo el cerebro ejecuta funciones necesarias para el aprendizaje. Entre dichas funciones cabe citar: atender a la información, controlar la atención, regular las relaciones entre emoción y cognición, codificar, organizar y recuperar información, etc. Estas funciones, que pueden estar deterioradas en un desarrollo atípico por causas genéticas o socioeconómicas, apuntalan la adquisición de habilidades instrumentales para la educación como la lectoescritura, o el cálculo matemático en un desarrollo normal. Por todo ello, supondría un gran avance para la mejora de la educación tener en cuenta, a la hora de diseñar programas y políticas educativas, los conocimientos que existen sobre el proceso de aprendizaje. Ello implica considerar parámetros básicos del desarrollo cerebral que afectan a habilidades fundamentales en el proceso

educativo como la lectura, o a procesos emocionales y atencionales, cuya importancia es capital para el aprendizaje.

En concreto, hay tres áreas en las que la neurociencia cognitiva puede contribuir significativamente a la educación: a) en el proceso de aprendizaje, tanto en niños normales como en niños con trastornos del aprendizaje, de destrezas cognitivas como la lectoescritura –dislexia– y el cálculo numérico –discalculia–, b) en el diseño de entrenamientos e intervenciones específicos así como en el uso de nuevas tecnologías para la mejora del proceso de aprendizaje, y c) en la capacidad para la detección precoz de posibles trastornos del aprendizaje en poblaciones de riesgo teniendo en cuenta factores genéticos y socio-económicos. Estas áreas se entrelazan con cuestiones capitales como las necesidades educativas específicas o el binomio enseñanza-aprendizaje que han de ser tenidos en cuenta a la hora del diseño de los currícula.

La investigación educativa está dirigida a mejorar los métodos, técnicas y materiales de enseñanza, mientras que el interés básico de la neurociencia cognitiva es comprender el funcionamiento cognitivo y sus bases neuronales, las relaciones mente-cerebro, siendo una parte importante de los mismos los procesos de aprendizaje y asimilación de información nueva. Son dos mundos que pueden fertilizarse mutuamente, pero todavía están alejados. Por ello, es importante tomar en consideración que no podemos esperar de forma inmediata una aplicación directa de la neurociencia a la educación, y que hemos de prestar mucha atención a la supuesta eficacia de hipotéticos hallazgos neurocientíficos en el campo educativo, que pueden no ser más que simples neuromitos, productos y creencias sin base científica pero que están siendo trasladados a la educación bajo el paraguas de un supuesto aval científico. Sin duda, la creciente información sobre cómo ocurre el aprendizaje y otras funciones en el cerebro es valiosa para quien trabaja en educación, pero su traslado tanto a la teoría como a la práctica de la enseñanza no es obvio ni automático (Bauer, 2005; Goswami, 2006; Posner y Rothbart, 2007).

En los últimos años, ha habido iniciativas para establecer puentes entre la neurociencia cognitiva y la educación. Esta es una empresa a largo plazo, dado que el conocimiento sobre el funcionamiento de nuestro cerebro y de nuestro sistema de procesamiento de la información puede ser muy informativo para diseñar programas de intervención o currícula específicos, pero no puede proporcionar directamente un proyecto de cómo educar. La información sobre el desarrollo del cerebro y sobre el manejo de la información en el proceso de aprendizaje típico y atípico puede y debe asistir al diseño educativo, pero no suplantarlos. El diseño educativo podría asemejarse al diseño de un rascacielos en el que colaboran ingenieros y arquitectos, que a la hora de realizar los diseños y los cálculos de la estructura tienen en cuenta las restricciones impuestas por los materiales y las necesidades de la estructura en relación al lugar en donde se va a realizar la construcción. De la misma forma, los diferentes actores de la educación, incluyendo los educadores, pero también los que diseñan las políticas educativas, deberían tener en cuenta el conocimiento acumulado dentro del ámbito de la neurociencia cognitiva sobre la naturaleza del proceso de aprendizaje y del procesamiento de la información, así como de la adquisición de habilidades en desarrollos típicos y atípicos. La neurociencia cognitiva está contribuyendo cada día a entender mejor y con mayor profundidad los procesos implicados en la adquisición de habilidades instrumentales, como la lectura, o a evaluar los efectos de las intervenciones educativas; y proporciona guías para la diagnosis, la clasificación y la intervención en trastornos del aprendizaje. De hecho, se ha lanzado recientemente una revista científica titulada *Mind, Brain and Education* (mente, cerebro y educación) con el objetivo de crear un foro de encuentro y de diseminación de información en

este campo emergente en donde se cruzan la neurociencia cognitiva, la psicología experimental, y la práctica educativa.

En las páginas que siguen desgranaremos algunos nuevos avances conceptuales, en las ciencias cognitivas y del cerebro, susceptibles de interés para la educación; en concreto, sobre la adquisición y el dominio de la lectura, que han sido posibles gracias a los avances tecnológicos que describimos a continuación.

3. Los nuevos avances tecnológicos

En los últimos años, la ciencia ha realizado avances sustanciales en la comprensión de la mente y del cerebro (Gazzaniga, 2004). Los hallazgos recientes en el ámbito de la neurociencia cognitiva, gracias a la utilización de avances tecnológicos e instrumentales, nos han permitido conocer mejor cómo funciona y cambia el cerebro durante la adquisición de habilidades como la lectura, tanto en niños con un desarrollo normal, como en niños que sufren trastornos del aprendizaje, y por tanto, estamos en mejor disposición para diseñar entrenamientos adecuados. Por ejemplo, hoy en día se emplean medidas neurobiológicas y conductuales integradas para determinar qué cambios cerebrales estructurales y funcionales predicen dificultades de aprendizaje de la lectura. Dos de las técnicas que se han venido empleando en los últimos años con éxito son el electroencefalograma (EEG) y la resonancia magnética, sobre todo la resonancia magnética funcional (fMRI).

El EEG se ha utilizado fundamentalmente para registrar los potenciales evocados corticales mediante electrodos ubicados en determinados lugares del cráneo. Los potenciales evocados son correlatos de la actividad eléctrica cerebral (microvoltios) producida por el disparo de neuronas ante la recepción sensorial de estímulos, generalmente visuales o auditivos, como la lectura de palabras. Los parámetros estudiados en los potenciales evocados corticales son la latencia, que refleja el tiempo transcurrido desde el inicio de la presentación del evento, como por ejemplo la palabra, y permite diferenciar si el efecto que registramos es temprano o tardío; es decir, la diferencia entre condiciones experimentales puede ocurrir a los 150, 200 o 400 milisegundos; la amplitud, que se refiere al voltaje positivo o negativo del componente de onda respecto a la línea base. De esta forma, componentes clásicos como la P/N150, o la N250, P300 o la N400 se definen por la polaridad (positiva P o negativa N) de la onda y el momento de aparición del componente tras la presentación del estímulo. Otro índice importante es la distribución del efecto en el cráneo. Hoy en día sabemos que diferentes tipos de componentes ocurren ante la presentación de determinados tipos de estímulos. Por ejemplo, el procesamiento semántico se asocia con la N400 mientras que el procesamiento subléxico con la N250, o el procesamiento sintáctico con la P600. Una gran ventaja de los potenciales evocados corticales es que proporcionan medidas en tiempo real y, además, no intrusivas de los procesos del lenguaje. Nuestro cerebro procesa la información a la velocidad de milisegundos, y por tanto, ese curso temporal del procesamiento de la información es susceptible de ser captado mediante esta técnica.

Los potenciales evocados corticales, aunque tienen una muy buena resolución temporal, tienen una resolución espacial muy baja. Por el contrario, la resonancia magnética funcional proporciona una muy buena resolución espacial sobre las zonas del cerebro donde se producen cambios de activación, aunque tiene una resolución temporal más baja. La resonancia magnética funcional mide la actividad neuronal de forma no invasiva “in vivo” detectando cambios locales específicos en el flujo sanguíneo que acompañan la actividad neuronal. Para detectar dichos cambios, cualquier paradigma de resonancia magnética funcional

debe incluir medidas de dos o más estados cerebrales. Por ejemplo, el área cerebral asociada con el proceso cognitivo de interés (producción del habla) se identifica mediante la comparación de una tarea de activación (lectura en voz alta) que implica el proceso de interés con una tarea de línea base que no la implica (lectura silenciosa). La resonancia magnética funcional es una herramienta muy valiosa para medir la activación de las regiones del cerebro durante la ejecución de una tarea cognitiva. Examinando los efectos de varias manipulaciones experimentales en la activación de diferentes áreas, esperamos entender no sólo qué áreas contribuyen a la realización de determinados procesos, sino también cómo contribuyen.

Muchos procesos cognitivos como la atención, el lenguaje, la memoria, etc., han sido investigados en términos de cambios electrofisiológicos y de activación cerebral, así como de conectividad funcional entre diferentes áreas del cerebro (Kutas y Ferdermeier, 2000; Price, 2000; Posner y Raichle, 1994). La combinación de manipulaciones experimentales apropiadas de determinadas tareas con el uso de técnicas como los potenciales evocados corticales o la resonancia magnética funcional han comenzado a arrojar luz sobre el proceso de aprendizaje y la adquisición de conocimiento humano, y sugieren cómo puede ser más efectiva la práctica educativa. El impacto de la educación en el cerebro ha

sido puesto de manifiesto de diversas formas. Por ejemplo, durante el reconocimiento de pseudopalabras (palabras inventadas), las personas alfabetizadas activan regiones del cerebro diferentes que los analfabetos (Castro-Caldas *et al.*, 1998). La adquisición de la lectura provoca no sólo cambios funcionales transitorios, sino además cambios cerebrales estructurales (Carreiras *et al.*, 2009) (véase figura 1a), tal como se ha documentado también con otros tipos de aprendizaje (Draganski *et al.*, 2004). Curiosamente, los circuitos neuronales se adaptan y cambian de forma dramática con el aprendizaje, lo que abre la oportunidad de asociar el aprendizaje con cambios neuronales causados por éste (Posner y Rothbart, 2005, 2007). Además, la neurociencia cognitiva ha proporcionado nuevas perspectivas a los educadores (Ansari y Coch, 2006). Las técnicas de neuroimagen nos permiten observar cambios y ausencias de activación neuronal en determinados trastornos, así como documentar qué tipos de entrenamiento pueden ser más efectivos. Estas técnicas pueden utilizarse también para observar qué tiempos de entrenamiento son más efectivos para mejorar la actividad de áreas o circuitos específicos asociados con un determinado trastorno o el impacto del estatus socioeconómico en el desarrollo lector (Noble *et al.*, 2007). En su conjunto, proporcionan una oportunidad única para entender el proceso de aprendizaje y la adquisición de habilidades cognitivas, así como para explorar las diferencias individuales.

Figura 1a.- Incremento de materia gris en los alfabetizados en comparación con los analfabetos en diversas regiones del cortex temporoparietal

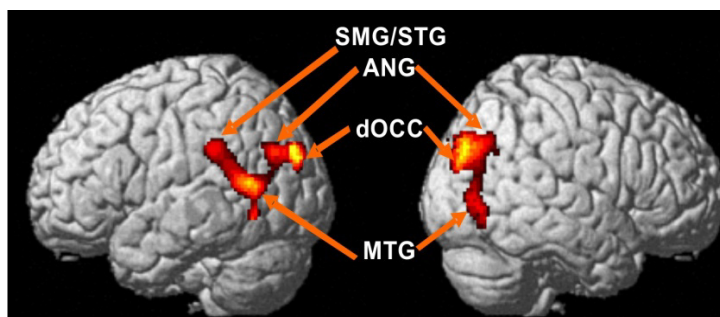
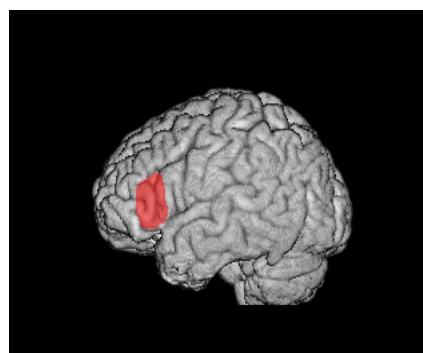
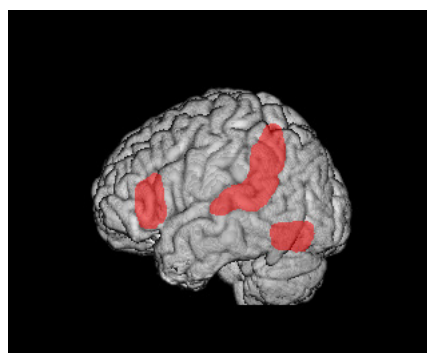


Figura 1b.- Resumen de las regiones del cerebro activadas durante la realización de tareas de lectura en lectores con un desarrollo normal (giro frontal inferior, cortex temporoparietal y cortex inferotemporal) y en lectores con dislexia (sólo giro frontal inferior)

Lectores estándar

Lectores con dislexia



Fuente: Figura 1b cortesía de G. Eden del *Center for the Study of Learning, Georgetown University, Washington, USA*

4. Lectura, dislexia y comprensión

Una de las habilidades capitales que se adquiere durante el proceso educativo es la lectura. La adquisición y consolidación de una

habilidad lectora adecuada es importante para paliar el fracaso escolar, dado que la lectura es uno de los pilares básicos sobre los que se asienta el andamio del sistema educativo. Es una habilidad instrumental que nos permite acceder a la información y asimilar nuevos conceptos. Necesitamos aprender a leer porque es una

actividad necesaria para seguir aprendiendo. Además, en una sociedad de la información como la nuestra, saber leer es imprescindible para poder desarrollar nuestras capacidades y ejercer plenamente nuestros derechos como ciudadanos. En el mundo desarrollado, la mayoría de los trabajos requieren un dominio adecuado de la lectura. Por tanto, la lectura es una habilidad humana capital y un ingrediente de éxito en nuestra sociedad, en la que mucha información se transmite mediante la palabra escrita. Hoy día nadie duda que la lectura sea una actividad fundamental para conseguir el éxito académico y social. Además, la lectura no sólo es un ingrediente esencial en la educación, sino que, como apuntó Mario Vargas Llosa, al recibir el premio Nobel en su discurso titulado “Elogio de la lectura”, es la cosa más importante que nos pasa en la vida, dado que pone a nuestro alcance un mundo inimaginable.

En tiempos no muy lejanos, la lectura no estaba muy extendida entre la población. Sin embargo, hoy en día, en los países desarrollados, la gran mayoría de las personas aprende a leer y lo hace sin mayor dificultad. Llega a tener un buen dominio de la lectura con uno, dos o como mucho tres años de práctica, dependiendo del sistema ortográfico. Sin embargo, el camino hacia el dominio de la lectura no ha sido ni es fácil, y no todos los niños lo consiguen con idéntica eficacia. Una de cada diez personas tiene dificultades para leer o para leer con una cierta fluidez. Dependiendo de las estimaciones, la prevalencia de las dificultades lectoras se cifra en torno al 10-15% de la población.

A pesar de poseer una inteligencia normal y a veces elevada, algunos niños tienen problemas con la adquisición de la lectura. La lectura es una actividad compleja, en buena parte dependiente del dominio del lenguaje oral, pero que requiere además establecer vínculos entre letras y sonidos. En algunos casos, las dificultades relacionadas con el lenguaje oral se manifiestan claramente o incluso se intensifican cuando los niños se incorporan al sistema educativo y pueden desembocar en un aprendizaje ineficiente de la lectura, lo que a su vez tiene consecuencias sobre el aprendizaje de otras habilidades cognitivas. En otros casos, el trastorno de adquisición de la lecto-escritura, que se denomina dislexia evolutiva, se debe fundamentalmente a una dificultad con la representación y uso de la información fonológica: correspondencia letras-sonidos (Snowling, 2000; Stanovitch y Siegel, 1994; Ramus, 2001, 2006).

En un sistema de escritura alfabético, el principio clave que ha de apresar el niño para aprender a leer es la idea de que las letras (grafemas) se asocian con sonidos (fonemas) del habla. Aprender a leer palabras, que es el logro central de la lectura, requiere un conocimiento de las estructuras fonológicas del lenguaje, lo que se denomina conciencia fonológica. De hecho, la relación entre conciencia fonológica y aprender a leer se ha establecido en numerosas lenguas (Lundberg *et al.*, 1980), y además, se ha demostrado que los códigos fonológicos se activan automáticamente en los lectores expertos (Carreiras *et al.*, 2005). Los modelos computacionales actuales sobre cómo procesamos las palabras escritas (Coltheart *et al.*, 2001; Harm y Seidenberg, 2001) asumen que la fonología juega un rol importante, aunque el peso de la fonología dependerá de la lengua de que se trate, dado que en algunas lenguas la correspondencia entre letras y sonidos es muy transparente, una letra con un sonido como en el caso del español, y en otras muy opaca como en el caso del inglés, en donde no existe una correspondencia uno a uno entre letras y sonidos.

Dada la gran evidencia que existe sobre la importancia de la fonología en la adquisición de la lectura, no es extraño que la hipótesis más aceptada sobre la causa de la dislexia evolutiva ponga el énfasis en un déficit en la representación y uso de la información fonológica (Ramus, 2001, 2006; Ramus *et al.*, 2003;

Snowling, 2000; Stanovitch y Siegel, 1994). No obstante, no existe un consenso universal sobre si el déficit fonológico es la causa última (Ramus *et al.*, 2003). Por ejemplo, se ha propuesto que la dislexia se origina en: a) un déficit en el procesamiento rápido de información ante estímulos tanto visuales como auditivos (Hari y Renvall, 2001; Tallal, 1980; 2004), de forma que el déficit fonológico tiene su causa última en la incapacidad para discriminar indicios acústicos de bajo nivel que son importantes para la discriminación de fonemas (Goswami, *et al.*, 2002); b) un déficit en el sistema magnocelular (Stein, 2003); o c) una disfunción en el cerebelo que causa un trastorno generalizado de la automatización de destrezas (Nicolson, *et al.*, 2001). En todo caso, estas teorías aceptan que el déficit fonológico está presente, incluso aunque se considere como un déficit secundario, por lo que el entrenamiento fonológico puede ser un buen candidato para favorecer la adquisición de la lectura, aunque el entrenamiento específico pueda depender de la ortografía particular (transparente u opaca) que se vaya a adquirir (Ziegler y Goswami, 2005). No obstante, es preciso constatar que también se han reportado dificultades lectoras, dislexias, que parecen no obedecer a problemas fonológicos, sino de tipo atencional, aunque con una prevalencia mucho menor (Bosse *et al.*, 2007). De cualquier manera, el desarrollo de estrategias de enseñanza novedosas y de tratamientos específicos de este trastorno requiere comprender los mecanismos cognitivos y neuronales subyacentes.

La dislexia es fundamentalmente un problema de índole neurológica, con base genética, que se manifiesta de forma diferente en diferentes lenguas. Por ejemplo, los estudios post-mortem han mostrado que los cerebros de los disléxicos muestran ectopias a nivel molecular en áreas perisilvianas del hemisferio izquierdo (Galaburda, *et al.*, 1985, 2006), anomalías en el cuerpo calloso (Duara *et al.*, 1991), en los tractos de materia blanca que subyacen a la unión temporo-parietal izquierda (Klingberg *et al.*, 2000), y el cerebelo (Rae *et al.*, 2002). Además, estudios genéticos con gemelos han demostrado el carácter hereditario de la dislexia, y los estudios de genética molecular han identificado una serie de genes candidatos vinculados con la dislexia (e.g., Grigorenko, 2003; Schumacher *et al.*, 2006; Taipale *et al.*, 2003). Por tanto, una fuente importante de diferencias individuales en la lectura proviene de factores genéticos que, en la medida de lo posible, deberíamos detectar precozmente para poder actuar cuanto antes con intervenciones apropiadas.

Además de la genética, otra causa importante de diferencias individuales y de una ejecución lectora pobre en la escuela es el estatus de inmigrante y el nivel socioeconómico. La evidencia sugiere que el nivel socioeconómico predice tanto la decodificación de palabras, como la comprensión lectora y que modula la asociación entre conciencia fonológica y habilidad lectora (Noble *et al.*, 2005). Cuando un niño tiene una buena conciencia fonológica logrará leer, sin embargo cuando un niño tiene una mala conciencia fonológica, el nivel socioeconómico juega un papel muy importante. Uno de los mediadores potenciales de la influencia del bajo nivel socioeconómico en la habilidad lectora es la estimulación más pobre y a veces inadecuada que reciben los niños que crecen en contextos empobrecidos (Bracken y Fischel, 2008). De hecho, se ha sugerido que uno de los determinantes principales de las relaciones entre nivel socioeconómico y habilidad lectora es el gradiente de experiencias relacionadas con la lectura, tales como el ambiente de lectura en casa, el grado de exposición temprana a la letra impresa y la calidad de las etapas tempranas en la escuela (Hecht *et al.*, 2000). Por tanto, tanto la detección temprana de problemas genéticos como socioeconómicos, que sabemos tienen una incidencia clara en la adquisición de la habilidad lectora, debería conllevar el diseño de inter-

venciones adecuadas para facilitar a estos niños la empresa de adquisición de la lectura.

Finalmente, es preciso apuntar que las diferencias individuales en lectura pueden estar causadas también por otros problemas como las dificultades de integración de información durante la comprensión lectora. Aparte del dominio de la conversión de grafemas a fonemas (letras a sonidos), los lectores expertos necesitan realizar una lectura comprensiva. La comprensión lectora es un proceso que requiere tanto la habilidad de decodificar palabras escritas como la de construir significados nuevos conectando e integrando información de palabras y oraciones, realizando inferencias hasta crear una representación coherente del discurso. Probablemente, las fuentes más importantes de información para los estudiantes se presentan en forma de textos. Sin embargo, algunos estudiantes no logran una comprensión adecuada de los mismos. Los fallos en las estrategias de comprensión de textos tienen consecuencias dramáticas, no sólo para comprender conceptos, sino también para la formulación y la comprensión de problemas en otras áreas, como la física, las matemáticas, etc. Algunos niños no alcanzan una buena comprensión lectora, aunque sus habilidades de lectura de palabras son buenas, porque no realizan inferencias adecuadas durante la comprensión, y tienen problemas con los procesos de integración de alto nivel de la estructura global del texto. Los problemas de comprensión pueden estar causados por una dificultad para integrar frases y extraer inferencias, por la capacidad de la memoria de trabajo para mantener información relevante en memoria, o la habilidad para inhibir y suprimir información relevante. La construcción de una representación semántica del texto implica la generación de inferencias para establecer relaciones de coherencia referencial, y para lograr el procesamiento de una estructura global se requiere la interacción de diferentes procesos (Perfetti, *et al.*, 2008). La comprensión lectora es un aspecto muy relevante dentro del proceso educativo, no obstante, debido a la restricción de espacio, en las páginas que siguen nos centraremos en los hallazgos de la neurociencia cognitiva relativos a la lectura de palabras.

5. La lectura desde la neurociencia cognitiva

La lectura de palabras activa determinadas regiones y circuitos cerebrales susceptibles de ser estudiados con las nuevas técnicas de neuroimagen. Los métodos modernos de neuroimagen nos proporcionan información nueva y convergente sobre la neuroanatomía funcional de la lectura. Varios estudios han encontrado que variables relacionadas con los procesos ortográficos y léxicos activan el cortex infero-temporal-posterior izquierdo (Cohen *et al.*, 2000, 2002), mientras que variables relacionadas con los procesos de ensamblaje fonológico incrementan la activación en las áreas frontales inferiores y temporo-parietales del hemisferio izquierdo (Fiebach *et al.*, 2002; Price, 2000). Información complementaria con técnicas que ofrecen una mejor resolución temporal, tales como el EEG, sugiere que los procesos léxicos aparecen muy temprano, en torno a los 150-200 milisegundos después del inicio de la presentación de la palabra (Carreiras, *et al.*, 2005; Maurer *et al.*, 2005). Por tanto, estos estudios muestran que podemos empezar a detallar los sistemas neuronales responsables de la lectura y de su adquisición.

El conocimiento obtenido con los métodos de la neurociencia también es informativo con respecto a las dificultades y trastornos de la lectura. Como hemos apuntado, existe una amplia evidencia que indica que los trastornos de lectura tienen una base neurológica y el déficit fundamental de las dificultades lectoras radica en las operaciones con las estructuras fonológicas del lenguaje. Estos déficits provocan, como consecuencia, limitaciones severas en la

calidad de las representaciones léxicas de las palabras escritas, que dependen de una integración adecuada de rasgos ortográficos, fonológicos y semánticos, es decir, de combinaciones de letras, sonidos y significados (Harm y Seidenberg, 1999; Perfetti y Hart, 2002). La ausencia de unas representaciones estables integradas impide el desarrollo de la lectura fluida. Los estudios de neuroimagen han mostrado de forma consistente que, en relación con los niños con desarrollo estándar, los lectores con dificultades muestran diferencias tanto estructurales como funcionales en el hemisferio izquierdo, tanto en regiones corticales como subcorticales que subyacen al circuito de lectura (procesamiento ortográfico, fonológico y semántico). Una de las diferencias claras entre disléxicos y controles es que las regiones asociadas con la fonología muestran patrones de activación muy diferentes (Paulesu *et al.*, 1996, 2001; Shaywitz *et al.*, 1998, 2002) (véase figura 1b). Asimismo, varios estudios han examinado el impacto de algunos programas de intervención en lectura en niños con dificultades lectoras y los cambios de activación cerebral antes y después de la intervención. Estos estudios muestran que los programas de intervención provocan cambios en los patrones atípicos de actividad cerebral de los disléxicos, de forma que los hacen más similares a los patrones de actividad de los niños normales (Simos *et al.*, 2002; Aylward *et al.*, 2003; Eden *et al.*, 2004, Shaywitz *et al.*, 2004). Por tanto, estos resultados están comenzando a proporcionar información muy útil sobre el desarrollo de la lectura y de sus déficits como la dislexia, y ponen de manifiesto la utilidad de las técnicas de neuroimagen para poder estudiar las bases neuronales de los cambios educativos.

Las técnicas de neuroimagen han ayudado a comprender también cómo se modula la adquisición de la lectura en función de si la ortografía que se adquiere es transparente u opaca. Por una parte, es más fácil aprender a leer en una ortografía transparente, como el español, que en una opaca, como en inglés. Por otra, la dislexia tiene una base neurológica, y por tanto, este trastorno debería afectar universalmente a la adquisición de la lectura en todas las ortografías, aunque su manifestación conductual pueda ser diferente: errores de lectura en una ortografía opaca, y lentitud, más que errores de lectura, en una ortografía transparente. Una teoría neurobiológica adecuada debería explicar tanto patrones específicos del lenguaje como invariantes asociados con desarrollo típico y atípico en diferentes lenguas (Bolger *et al.*, 2005; Paulesu *et al.*, 2000, 2001). En este sentido es importante documentar que las trayectorias neurocognitivas de niños con varios perfiles de riesgo son similares cuando adquieren sistemas de escritura que contrastan en su transparencia de ortografía-fonología. Se han observado similitudes trans-lingüísticas tanto a nivel neurobiológico (Paulesu *et al.*, 2001) como cognitivo (Ziegler y Goswami, 2006) en patrones que discriminan entre niños con desarrollo típico y atípico, lo que fortalece la perspectiva universal. De hecho, aunque las destrezas fonológicas específicas se sustentan con mayor o menor facilidad, dependiendo de si la ortografía en cuestión es transparente u opaca, el aprendizaje de la lectura en último término depende de la cualidad y la combinación de los sistemas y circuitos de la visión y el lenguaje oral que subyacen a la reorganización del cerebro para que la lectura sea posible.

Cada vez hay más datos empíricos que apoyan la caracterización de las dificultades lectoras como un problema con base neurológica. La evidencia actual apunta a vínculos entre el desarrollo cerebral atípico y los déficits lectores. Ahora el desafío reside en desarrollar modelos de cerebro-conducta predictivos y poner a prueba predicciones sobre los patrones de estructura y activación cerebral que promuevan componentes específicos del aprendizaje bajo condiciones experimentales controladas. En otras palabras, se trataría de usar las técnicas de neuroimagen para generar

perfiles de neuro-fenotipos estructurales y funcionales (regiones y circuitos) para predecir diferencias individuales en lectura; es decir, aislar marcadores neuronales que puedan predecir el aprendizaje de las conexiones entre ortografía, fonología, y semántica. Modelos neuronales de aprendizaje y de plasticidad en poblaciones típicas y atípicas. Para ello, es imprescindible pensar en el cerebro como un conjunto intrincado de redes y adoptar una filosofía que vaya más allá de vincular funciones a regiones específicas del cerebro. La especialización para la lectura no está en la dedicación de unas determinadas regiones, sino en las interacciones entre combinaciones únicas de regiones cerebrales que participan en varias funciones. En este sentido, por ejemplo, la evaluación de las herramientas de intervención educativas debe ir más allá del enfoque de la segregación (activación-deactivación de un área cerebral determinada) y observar si el entrenamiento provoca cambios de conectividad entre áreas.

En suma, el desarrollo de estrategias de intervención específicas para niños que sufren, o con riesgo de sufrir, dificultades en la adquisición de la lectoescritura debería partir de una comprensión adecuada y actual de los mecanismos cognitivos que subyacen al aprendizaje lector. Como hemos visto, los avances en la comprensión de la lectura y sus bases cerebrales tienen implicaciones directas en relación con cómo debería ser enseñada la lectura, cómo debería mejorarse la ejecución lectora, y cómo deberían remediarse los trastornos lectores. Estos conocimientos proporcionan información importante a los educadores, a los clínicos y a los padres implicados en la educación.

6. La detección temprana desde la neurociencia cognitiva

La posibilidad de detectar y de intervenir tempranamente en alumnos con riesgo de presentar dificultades lectoras es un gran reto, ya que supone evitar o paliar futuros fracasos, adecuando la respuesta educativa a las necesidades del alumno y abaratando el alto coste personal y social que implica la intervención tardía. Actualmente la identificación de alumnos que presentan dificultades lectoras se realiza a partir del segundo ciclo de la educación primaria, cuando el problema se presenta de forma dramática porque la lectura es una actividad fundamental para el desarrollo educativo. Por tanto, es necesario poner el énfasis en la diferenciación diagnóstica y no solo en la respuesta educativa. Para ello tenemos que conocer los problemas que puedan presentar los niños en riesgo de presentar dificultades lectoras para proporcionar un diagnóstico preciso y desarrollar una estrategia de intervención específica.

Como hemos indicado, las dificultades lectoras están caracterizadas por una dificultad neurológica para la adquisición de una decodificación fluida de palabras. La sintomatología de dislexia refleja una conducta con una variación genética (Plomin y Kovas, 2005) y una distribución normal, y por tanto, debería entenderse como un trastorno dimensional, más que como un trastorno discreto (Fletcher, 2009). Las dificultades de adquisición de la lectura tienen una relación importante con el procesamiento fonológico que puede ser detectado antes de la instrucción formal (Byrne, *et al.*, 2008). Sin embargo, los orígenes neurocognitivos de los déficits fonológicos todavía no se entienden bien. La identificación de los marcadores de riesgos tempranos para las dificultades lectoras tienen una prioridad alta para investigadores, educadores, y clínicos, pero hasta ahora hay pocos estudios que hayan examinado niños en riesgo con medidas neurobiológicas y cognitivas desde la percepción del habla o de sonidos hasta las conciencia fonológica y la adquisición de la lectura (Lyytinen *et al.*, 2004). La cuestión es si los problemas de conciencia fonológi-

ca y de aprendizaje ortográfico se pueden retrotraer a una organización deficiente de los mecanismos subyacentes a la percepción y producción del habla.

Aprender a leer es uno de los principales ejercicios de neuroplasticidad (Dehaene, 2009). Un desafío temprano e importante para la reorganización cerebral se presenta cuando los niños comienzan a desarrollar destrezas analítico-fonológicas, una precondition crítica para aprender a leer. Esencialmente, esto implica una modificación de las representaciones fonológicas para hacerlas disponibles para los análisis cognitivos. Las teorías actuales sugieren que la reorganización fonológica depende en gran medida de la integridad de los mecanismos del sistema perceptivo-motor del habla (Hickok *et al.*, 2011). Es probable, por tanto, que podamos obtener los marcadores más tempranos de riesgo de dificultades lectoras en los índices neurobiológicos y cognitivos de la organización sensorio-motora del habla.

A nivel conductual, se han encontrado problemas de percepción y producción del habla en niños con riesgo elevado de dislexia (Lyytinen *et al.*, 2004; Preston *et al.*, 2010), y a nivel neurobiológico, estudios histológicos (Galaburda *et al.*, 1985, 2006), y más recientemente, estudios volumétricos y con técnicas de tensores de difusión con resonancia magnética (Hoeft *et al.*, 2007; Niogi y McCandliss, 2006; Silani *et al.*, 2005) han reportado anomalías en la organización micro y macro de los sistemas corticales y subcorticales del hemisferio izquierdo asociadas con el habla. Además, algunos estudios de resonancia magnética funcional sugieren que niños con una conciencia fonológica empobrecida y malos lectores con trastornos moderados del habla no muestran una activación estándar ante palabras presentadas auditivamente (Frost *et al.*, 2009; Preston *et al.*, 2010). Por tanto, para la identificación de marcadores tempranos de la adquisición de la lectura es necesario considerar la posible contribución de los procesos sensoriomotores de percepción del habla y su posible relación con el aprendizaje lector. Esta es una línea de investigación en auge dentro de la neurociencia cognitiva que, sin duda, tendrá un gran impacto en los años venideros en la educación. La identificación de esos marcadores tempranos de niños con riesgo de sufrir dificultades lectoras es asimismo de gran trascendencia para poder anticipar un entrenamiento adecuado y así paliar posibles problemas durante el proceso de adquisición lectora.

7. Recapitulando

La investigación en neurociencia cognitiva muestra que comenzamos a entender los sistemas neuronales que subyacen al aprendizaje de la lectura, tanto en las trayectorias de desarrollo típicas, como atípicas (dislexia); cómo estos se modifican con el entrenamiento, o cómo podemos predecir a partir de algunos marcadores tempranos si un niño determinado presenta factores de riesgo, y consecuentemente diseñar una intervención preventiva. Estos son grandes avances de la neurociencia cognitiva que pueden ser muy informativos y que deberían de tenerse en cuenta para diseñar políticas educativas. Sin embargo, debemos de ser conscientes que aunque estos estudios dan pautas muy importantes sobre elementos del proceso de aprendizaje que se deberían tener en cuenta en diseños educativos concretos - como los métodos de la adquisición de la lectura, por poner un ejemplo - no se pueden traducir en indicaciones precisas a los maestros sobre qué es lo que funciona en la clase. Por otra parte, hemos de romper barreras y desmontar susceptibilidades entre disciplinas con visiones muy diferentes de la realidad y con métodos de trabajo muy dispares. El diálogo entre neurociencia cognitiva y educación no es

fácil, pero es posible y sin lugar a dudas será fructífero, aunque queda mucho camino que recorrer.

Agradecimientos

Proyecto COEDUCA financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del programa CONSOLIDER-INGENIO2010 CSD2008-00048.

Referencias bibliográficas

ANSARI, D. & COCH, D. (2006): "Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience". *Trends in Cognitive Sciences*, 10, pp. 146-151.

AYLWARD, E.H.; RICHARDS, T.L.; BERNINGER, V.W.; NAGY, W.E.; FIELD, K.M., & GRIMME, A.C. (2003): "Instructional treatment associated with changes in brain activation in children with dyslexia". *Neurology*, 61, 212-9.

BYRNE, B.; COVENTRY, W. L.; OLSON, R. K.; HULSLANDER, J.; WADSWORTH, S.; DEFRIES, J. C., *et al.* (2008): "A behavior-genetic analysis of orthographic learning, spelling, and decoding". *Journal of Research in Reading*, 31, 8-21.

BRACKEN, S.S. & FISCHER, J.E. (2008): "Family Reading Behavior and Early Literacy Skills in Preschool Children from Low-Income Backgrounds". *Early Education and Development*, 19, pp. 45-67.

BOLGER, D.J.; PERFETTI, C.A., & SCHNEIDER, W. (2005): "A cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation". *Journal of Human Brain Mapping*, 25(1), pp. 83-91.

BOSSE, M.L.; TAINTURIER, M.J., & VALDOIS, S. (2007): "Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis". *Cognition*, Vol.104, No.2, pp. 198-230, ISSN 0010-0277.

BRUER J.T. (2005): "Points of view: on the implications of neuroscience research for science teaching and learning: are there any?". *Life science education*, 5 (2), pp. 104-110.

CASTRO-CALDAS A.; PETERSSON K.M.; REIS A.; STONE-ELANDER S., & INGVAR M. (1998): "The illiterate brain. Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain". *Brain*, 121(6), 1053-63.

CARREIRAS, M.; FERRAND, L.; GRAINGER, J. & PEREA, M. (2005): "Sequential effect of phonological priming in visual word recognition". *Psychological Science*, 16 (8), pp. 585- 589.

CARREIRAS, M.; SEGHIER, M.; BAQUERO, S.; ESTÉVEZ, A.; LOZANO, A.; DEVLIN, J.T., & PRICE, C. J. (2009): "An anatomical signature for literacy". *Nature*, 461, 983-U245.

CARREIRAS, M.; VERGARA, M.; BARBER, H. (2005b): "Early ERP effects of syllabic processing during visual word recognition". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, pp. 1803-1817.

COHEN, L.; DEHAENE, S.; NACCACHE, L.; LEHERICY, S.; DEHAENE-LAMBERTZ, G.; HENAFF, M.A., & MICHEL, F. (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, pp. 291-307.

COHEN, L.; LEHERICY S.; CHOCHON F.; LEMER C.; RIVAUD S., & DEHAENE S. (2002): "Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area". *Brain*, 125, pp. 1054-1069.

COLTHEART, M.; RASTLE, K.; PERRY, C.; LANGDON, R. & ZIEGLER, J. (2001): "DRC: A Dual Route Cascaded model of visual word recognition and reading aloud". *Psychological Review*, 108, pp. 204-256.

DEHAENE, S. (2009): *Reading in the brain*. Penguin, New York.

DRAGANSKI, B.; GASER, C.; BUSCH, V.; SCHUIERER, G.; BOGDHANN, U., & MAY, A. (2004): "Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training". *Nature*, 427, pp. 311-312.

DUARA, R.; KUSHCH, A.; GROSS-GLENN, K.; BARKER, W. W.; JALLAD, B., & PASCAL, S. (1991): "Neuroanatomic differences between dyslexic and

normal readers on magnetic resonance imaging scans". *Archives of Neurology*, 48(4), pp. 410-416.

EDEN, G.F.; JONES, K.M.; CAPPELL, K.; GAREAU, L.; WOOD, F.B.; ZEFFIRO, T.A.; DIETZ, N.A.; AGNEW, J.A., & FLOWERS, D.L. (2004): "Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia". *Neuron*, 44, 411-22.

FIEBACH, C.J.; FRIEDERICI, A.D.; MÜLLER, K., & VON CRAMON, D.Y. (2002): "fMRI Evidence for Dual Routes to the Mental Lexicon in Visual Word Recognition". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, pp. 11-23.

FLETCHER, J. (2009): "Dyslexia: The evolution of a scientific concept". *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15, pp. 501-508.

FROST, S.J.; LANDI, N.; MENCL, W.E.; SANDAK, R.; FULBRIGHT, R.K.; TEJADA, E.T.; JACOBSEN, L.; GRIGORENKO, E.L.; CONSTABLE, R.T., & PUGH, K.R. (2009): "Phonological awareness predicts activation patterns for print and speech". *Annals of Dyslexia*, 59, pp. 78-97.

GALABURDA, A.M.; SHERMAN, G.F.; ROSEN, G.D.; ABOITIZ, F., & GESCHWIND, N. (1985): "Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies". *Annals of Neurology*, 18, pp. 222-233.

GALABURDA, A.M.; LOTURCO, J.; RAMUS, F.; FITCH, R.H., & ROSEN, G.D. (2006): "From genes to behavior in developmental dyslexia". *Nature Neuroscience*, 9(10), pp. 1213-1217.

GAZZANIGA, M.S. (2004): *The Cognitive Neurosciences*. MIT Press.

GOSWAMI, U. (2006): "Neuroscience and education: from research to practice?". *Nature Reviews Neuroscience*, 7, pp. 406-411.

GOSWAMI, U.; THOMSON, J.; RICHARDSON, U.; STAINTHORP, R.; HUGHES, D.; ROSEN, S., & SCOTT, S.K. (2002): "Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: a new hypothesis". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 (16), 10911-10916.

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 of the United States of America*, 100(20), 11190-11192.

HARI, R. & RENVALL, H. (2001): "Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia". *Trends in Cognitive Sciences*, 5, pp. 525-532.

HARM, M.W. & SEIDENBERG, M.S. (1999): "Reading acquisition, phonology, and dyslexia: Insights from a connectionist model". *Psychological Review*, 106, pp. 491-528.

HECHT, S.A.; BURGESS, S.R.; TORGESEN, J.K.; WAGNER, R.K., & RASHOTTE, C.A. (2000): "Explaining social class differences in growth of reading skills from beginning kindergarten through fourth grade: the role of phonological awareness, rate of access, and print knowledge". *Reading and Writing*, 12 (1-2), pp. 99-127.

HICKOK, G.; HOUDE, J., & RONG, F. (2011): "Sensorimotor Integration in Speech Processing: Computational Basis and Neural Organization". *Neuron*, 69(3), pp. 407-422.

HOEFT, F.; UENO, T.; REISS, A.L.; MEYLER, A.; WHITFIELD-GABRIELI, S.; GLOVER, G.; KELLER, T.A.; KOBAYASHI, N.; MAZAIKA, P.; JO, B.; JUST, M.A.; AND GABRIELI, J.D.E. (2007): "Prediction of children's reading skills using behavioral, functional and structural neuroimaging measures". *Behavioral Neuroscience*, 121(3), pp. 602-613.

KLINGBERG, T.; HEDEHUS, M.; TEMPLE, E.; SALZ, T.; GABRIELI, J.; MOSELEY, M., & POLDRACK, R., (2000): "Microstructure of Temporo-Parietal White Matter as a Basis for Reading Ability: Evidence from Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging". *Neuron*, 25, pp. 493-500.

KUTAS, M. & FEDERMEIER, K.D. (2000): "Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension". *Trends in Cognitive Science*, 4, pp. 463-470.

LYYTINEN, H.; ARO, M.; EKLUND, K.; ERSKINE, J.; GUTTORM, T.K.; LAAKSO, M.L.; LEPPÄNEN, P.H.T.; LYTTINEN, P.; POIKKEUS, A.M.; RICHARDSON, U., & TORPPA, M. (2004): "The development of children at familial risk for dyslexia: birth to school age". *Annals of Dyslexia*, 54, pp. 184-220.

- LUNDBERG, I.; OLOFSSON, A., & WALL, S. (1980): "Reading and spelling skills in the first school years predicted from phonemic awareness skills in kindergarten". *Scandinavian Journal of Psychology*, 21, pp. 159-173.
- MAURER, U.; BREM, S.; BUCHER, K. & BRANDEIS, D. (2005): "Emerging Neurophysiological Specialization for Letter Strings". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17:10, pp. 1532-1552.
- NICOLSON, R.I., & FAWCETT, A.J. (2006): "Do cerebellar deficits underlie phonological problems in dyslexia?" *Developmental Science*, 9 (3), pp. 259-262.
- NIOGI, S.N. & MCCANDLISS, B.D. (2006): "Left lateralized white matter microstructure accounts for individual differences in reading ability and disability". *Neuropsychologia*, 44, pp. 2178-2188.
- NOBLE, K.G.; NORMAN, M.F., & FARAH, M.J. (2005): "Neurocognitive correlates of socioeconomic status in kindergarten children". *Developmental Science*, 8(1), pp. 74-87.
- NOBLE, K.G.; MCCANDLISS, B.D., & FARAH, M. (2007): "Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities". *Developmental Science*, 10, pp. 464-480.
- PAULESU, E.; DEMONET, J.F.; FAZIO, F.; MCCRORY, E.; CHANOINE, V.; BRUNSWICK, N.; CAPP, S.F.; COSSU, G.; HABIB, M.; FRITH, C.D., & FRITH, U. (2001): "Dyslexia: cultural diversity and biological unity". *Science*, 291, 2165-7.
- PAULESU, E.; FRITH, U.; SNOWLING, M.; GALLAGHER, A.; MORTON, J.; FRACKOWIAK, R.S.J., & FRITH, C.D. (1996): "Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning". *Brain*, 119, pp. 143-157.
- PAULESU, E.; MCCRORY, E.; FAZIO, F.; MENONCELLO, L.; BRUNSWICK, N.; CAPP, S.F.; COTELLI, M.; COSSU, G.; CORTE, F.; LORUSSO, M.; PESENTI, S.; GALLAGHER, A.; PERANI, D.; PRICE, C.; FRITH, C.D. & FRITH, U. (2000): "A cultural effect on brain function". *Nature Neuroscience*, 3, pp. 91-96.
- PERFETTI, C.; YANG, C.L. & SCHMALHOFER, F. (2008): "Comprehension Skill And Word-To-Text Integration Processes". *Applied Cognitive Psychology*, 22, pp. 303-318.
- PERFETTI, C.A. & HART, L. (2002): "The lexical quality hypothesis". In L. Vehoeven, C. Elbro, & P. Reitsma (Eds.). *Precursors of functional literacy*, (pp. 189-213). Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- PLOMIN, R. & KOVAS, Y. (2005): "Generalist genes and learning disabilities". *Psychological Bulletin*, 131, 592
- POSNER, M.I. & RAICHLE, M.E. (1994): *Images of Mind*. Scientific American Books, New York.
- POSNER, M.I. & ROTHBART, M.K. (2005): "Influencing brain networks: implications for education". *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 3, pp. 99-103.
- POSNER, M.I. & ROTHBART, M.K. (2007): *Educating the human brain*. DCAPA Books, Washington.
- PRESTON, J.L.; FROST, S.J.; MENCL, W.E.; FULBRIGHT, R.K.; LANDI, N.; GRIGORENKO, E.; JACOBSEN, L. & PUGH, K.R. (2010): "Early and late talkers: school-age language, literacy and neurolinguistic differences". *Brain*, 133,
- PRICE, C.J. (2000): "The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging". *Journal of Anatomy*, 19, pp. 335-359.
- RAE, C., HARASTY, J.A.; DZENDROWSKYJ, T.E.; TALCOTT, J.B.; SIMPSON, J.M.; BLAMIRE, A.M.; DIXON, R.M.; LEE, M.A.; THOMPSON, C.H.; STYLES, P.; RICHARDSON, A.J., & STEIN, J.F. (2002): "Cerebellar morphology in developmental dyslexia". *Neuropsychologia*, 40(8), 1285-92.
- RAMUS, F. (2001): "Dyslexia. Talk of two theories". *Nature*, 412 (6845), 393-5.
- RAMUS, F.; ROSEN, S.; DAKIN, S.C.; DAY, B.L.; CASTELLOTE, J.M.; WHITE, S., & FRITH, U. (2003): "Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults". *Brain*, 126, pp. 841-865.
- RAMUS, F. (2006): "A neurological model of dyslexia and other domain specific developmental disorders with an associated sensorimotor syndrome". In G. D. Rosen (Ed.), *The Dyslexic Brain: New Pathways in Neuroscience Discovery* (pp. 75-101). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- SCHUMACHER, J.; ANTHONI, H.; DAHDOUH, F.; KONIG, I.R.; HILLMER, A.M.; *et al.* (2006): "Strong genetic evidence of DCDC2 as a susceptibility gene for dyslexia". *Am. J. Hum. Genet.* 78:52-62
- SHAYWITZ, S.E.; SHAYWITZ, B.A.; PUGH, K.R.; FULBRIGHT, R.K.; CONSTABLE, R.T.; MENCL, W.E.; SHANKWEILER, D.P.; LIBERMAN, A.M.; SKUDLARSKI, P.; FLETCHER, J.M.; KATZ, L.; MARCHIONE, K.E.; LACADIE, C.; GATTENBY, C., & GORE, J.C. (1998): "Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia". *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95, pp. 2636-2641.
- SHAYWITZ, B.A.; SHAYWITZ, S. E.; PUGH, K. R.; EINAR MENCL, W.; FULBRIGHT, R. K.; SKUDLARSKI, P.; TODD CONSTABLE, R.; MARCHIONE, K.E.; FLETCHER, J.M.; REID LYON, G., & GORE, J.C. (2002): "Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia". *Biological Psychiatry*, 52, pp. 101-110.
- SHAYWITZ, B.A.; SHAYWITZ, S.E.; BLACHMAN, B.A.; PUGH, K.R.; FULBRIGHT, R.K.; SKUDLARSKI, P.; MENCL, W.E.; CONSTABLE, R.T.; HOLAHAN, J.M.; MARCHIONE, K.E.; FLETCHER, J.M.; LYON, G.R., & GORE, J.C. (2004): "Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically based intervention". *Biological Psychiatry*, 55, pp. 926-33.
- SILANI, G.; FRITH, U.; DEMONET, J. F.; FAZIO, F.; PERANI, D.; PRICE, C.; FRITH, C.D.; PAULESU, E. (2005): Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: A voxel based morphometry study. *Brain*, 128, pp. 2453-2461.
- SIMOS, P.G.; FLETCHER, J.M.; BERGMAN, E.; BREIER, J.I.; FOORMAN, B.R.; CASTILLO, E.M.; DAVIS, R.N.; FITZGERALD, M., & PAPANICOLAOU, A.C. (2002): "Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training". *Neurology*, 58, pp. 1203-1213.
- SNOWLING, M. (2000): *Dyslexia: A cognitive-developmental perspective*. Blackwell, Oxford, England.
- STANOVICH, K.E., & SIEGEL, L.S. (1994): "Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model". *Journal of Educational Psychology*, 86, pp. 24-53.
- STEIN, J. (2003): "Visual motion sensitivity and reading". *Neuropsychologia*, 41(13), pp. 1785-1793
- TAIPALE, M.; KAMINEN, N.; NOPOLA-HEMMI, J.; HALTIA, T.; MYLLYLUOMA, B.; LYYTINEN, H.; MULLER, K.; KAARANEN, M.; LINDSBERG, P.J.; HANNULA-JOUPPI, K., & KERE, J. (2003): "A candidate gene for developmental dyslexia encodes a nuclear tetratricopeptide repeat domain protein dynamically regulated in brain". *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 100(20), 11553-8.
- TALLAL, P. (1980): "Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children". *Brain & Language*, 9,182-98.
- (2004): "Improving language and literacy is a matter of time". *Nature Reviews Neuroscience*, 5, pp. 721-728.
- ZIEGLER, J. & GOSWAMI, U. (2005): "Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory". *Psychological Bulletin*, 131, pp. 3-29.
- (2006): "Becoming literate in different languages: Similar problems, different solutions". *Developmental Science*, 9, pp. 429-436.

El autor

Manuel Carreiras

Es catedrático de Universidad, actualmente dentro del programa IKERBASQUE, y director científico del “Basque Center on Cognition, Brain and Language”, ubicado en Donostia-San Sebastián. Ha publicado numerosos artículos y diversos libros sobre lectura, comprensión, bilingüismo y aprendizaje de segundas lenguas. En su investigación utiliza diversas técnicas, incluyendo, técnicas avanzadas de neuroimagen. Es editor de revistas internacionales prestigiosas del área de Neurociencia Cognitiva como *Frontiers in Languages Sciences* y *Language and Cognitive Processes*. Ha dirigido diversos proyectos de investigación, entre los que destaca COEDUCA, financiado dentro del programa CONSOLIDER-INGENIO 2010, y BILITERACY financiado por el “European Research Council”.

