

Dislexia, neurociencia de los trastornos específicos del aprendizaje

*Dyslexia, neuroscience
of specific learning disorders*

DOI: <https://doi.org/10.51378/eca.v80i181.10011>

José Rodolfo Pérez

Director Ejecutivo
Centro Universitario de Neurociencia
Universidad Francisco Gavidia (UFG)
El Salvador
jrperez@ufg.edu.sv

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8991-6274>

Recibido: 3 de junio de 2025

Aprobado: 19 de junio de 2025



Artículo

Resumen

Los trastornos específicos del aprendizaje, anteriormente conocidos como dislexia, discalculia, disortografía, disgrafía, entre otros, son un desafío multidimensional en el rendimiento académico, emocional y social de niños y adolescentes. Estos trastornos no se atribuyen a déficits sensoriales o falta de instrucción, sino a disfunciones neurobiológicas específicas. En el caso de la dislexia, por ejemplo, las investigaciones en neuroimagen han reportado anomalías en la activación de regiones claves en el hemisferio izquierdo, como la circunvolución fusiforme o el área temporo-parietal, involucradas en la decodificación y procesamiento fonológico y una disminución de la conectividad funcional entre estas y otras estructuras involucradas con la producción de lenguaje. Otro ejemplo es la discalculia, la cual se asocia con alteraciones en el surco intraparietal y el tálamo, lo que afecta el procesamiento numérico y la memoria de trabajo. La evaluación neuropsicológica es el pilar para un diagnóstico de estos problemas del aprendizaje y una intervención más personalizada. Los tratamientos basados en la neurociencia, como la estimulación hemisférica, el entrenamiento cognitivo, la estimulación eléctrica transcraneal y los videojuegos educativos, han demostrado ser efectivos para mejorar las funciones lectoras y ejecutivas. A pesar de todo, aún se requiere más investigación para tener una mejor comprensión de estos trastornos, a la vez que se desarrolla una responsabilidad ética de las profesiones para supervisar los progresos en este campo emergente de las neurociencias de los trastornos del aprendizaje.

Palabras clave: dislexia, neurociencia, aprendizaje, neuropsicología

Abstract

Specific learning disorders -referred as dyslexia, dyscalculia, dysorthography, dysgraphia, among others- are multidimensional challenges for the academic, emotional and social performance of children and adoles-

cents. These are not due to sensory deficits or teaching failures, but rather are the result of specific neurobiological abnormalities. In the case of dyslexia, for instance, neuroimaging research has found atypical activation in critical regions of the left hemisphere, such as the fusiform gyrus or the temporo-parietal region, involved in decoding and phonological abilities, and reduced functional connectivity among these and other (in)directly relevant language production areas. On another hand, dyscalculia, involves changes in the intraparietal sulcus and the thalamus with effects on the processing of numbers and working memory. The neuropsychological evaluation is the touchstone of diagnosis for these learning disorders and for the planning of more individualized remediation. A variety of neuroscience-informed treatments (e.g., hemispheric stimulation, cognitive training, transcranial electrical stimulation, and educational computer games) have been successful in increasing reading and executive functions. Further research is, however, still required to gain an improved understanding of these conditions and an ethical obligation among professionals to follow the developments in this emerging field of learning disorder neuroscience.

Keywords: dyslexia, neuroscience, learning, neuropsychology.

1. Introducción

Los trastornos específicos del aprendizaje son un desafío considerable para educadores, psicólogos y otros científicos. Estos trastornos se caracterizan por dificultades persistentes en la adquisición de las habilidades académicas fundamentales como la lectura, escritura, cálculo, caligrafía, entre otras, que no pueden ser explicadas por ningún déficit de tipo sensorial, cognitivo o por falta de una instrucción/educación adecuada (Barlow et al., 2016).

La prevalencia de los trastornos específicos del aprendizaje varía a razón del criterio utilizado para definirlos. En los últimos años, se informa una prevalencia de entre 4% a

9% para los trastornos asociados a la lectura; y entre 3% a 7%, para trastornos asociados al cálculo. Además, al menos la mitad de los niños con alguno de estos trastornos posee problemas en más de un dominio del aprendizaje, por lo que la presentación de comorbilidades es común. Cabe destacar que estos trastornos comórbidos son tan frecuentes como los trastornos principales, incluso si se aplican criterios diagnósticos más rígidos para la clasificación de los individuos. Por ejemplo, la comorbilidad más habitual se observa entre déficits aritméticos y ortográficos, en comparación con la comorbilidad entre déficits aritméticos y lectura (Moll *et al.*, 2014). En el caso del trastorno del aprendizaje de la lectura, lo que se conoce comúnmente como dislexia, afecta entre un 5% y 17% de los niños en edad escolar, dificultando la adquisición de las capacidades de decodificación y comprensión del lenguaje escrito. Esto conlleva a un pobre desarrollo académico y problemas emocionales asociados (Shaywitz *et al.*, 2001).

Este texto es una revisión crítica de la literatura a la fecha, pues la investigación relacionada con los trastornos específicos de los aprendizajes ha avanzado a grandes pasos gracias al aporte de las neurociencias. Tradicionalmente, la dislexia era comprendida desde una perspectiva educativa; es decir, sin analizar ningún aspecto neurobiológico de por medio que aportara una explicación.

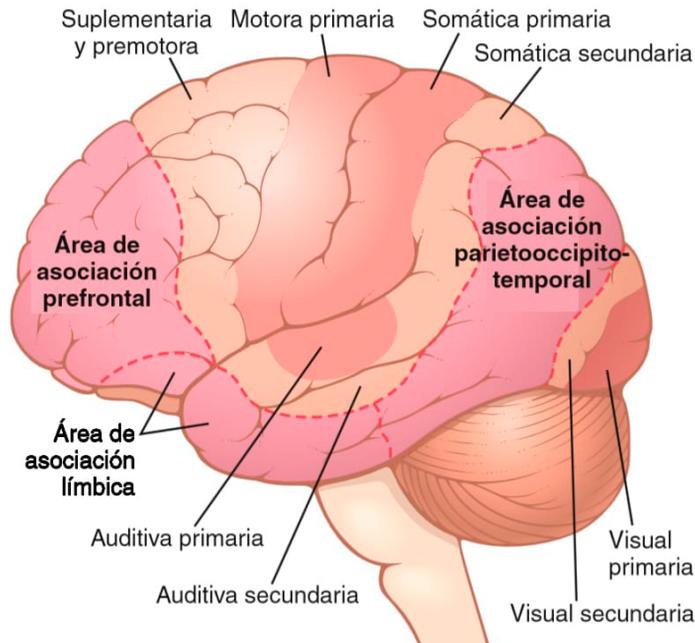
En la actualidad, gracias a las técnicas de resonancia magnética funcional (fMRI) y tomografía por emisión de positrones (PET), ha sido posible revelar patrones distintivos de activación neuronal en individuos que padecen dislexia. Se ha observado que las áreas del hemisferio izquierdo, como el sistema temporoparietal y occipitotemporal, muestran activaciones atípicas significativas asociadas con el proceso de lectura e integración de componentes fonológicos y semánticos (Pugh, Mencl, Jenner *et al.*, 2000).

Otro sistema neuronal que influye significativamente en la representación visual de las palabras y sus correspondientes representaciones fonológicas y semánticas, es el temporoparietal y la región posterior del giro temporal superior. En las etapas tempranas del aprendizaje de la lectura, en donde se comienzan a relacionar las letras con sus respectivos sonidos y significados, estas áreas muestran una alta tasa de actividad. No obstante, investigaciones (Pugh, Mencl, Shaywitz *et al.*, 2000; Shaywitz y Shaywitz, 2005) han mostrado que los niños con dislexia poseen una activación reducida o ausente en estos sistemas y regiones, sugiriendo una dificultad en la integración de ambos, los cuales están estrechamente implicados en los procesos esenciales de aprendizaje del lenguaje.

Pero existe un sistema neurobiológico que posee un rol crítico en la explicación de los trastornos específicos del aprendizaje, especialmente en la dislexia. Ese refiere al área occipito-temporal (ver figura 1) o también conocido como “área de la formación visual de las palabras”. Este sistema es el responsable del reconocimiento rápido y automático de las palabras, lo que permite tener una lectura fluida. Algunas investigaciones (Reschly, 2005; S. Shaywitz y Shaywitz, 2005) han reportado actividad atípica en esta área en niños diagnosticados con dislexia, lo que puede estar a la base de las dificultades en el reconocimiento de las palabras, fluidez y comprensión lectora, entre otros similares. También ha sido posible identificar el rol de la materia blanca en regiones como el fascículo arqueado, que conecta el lóbulo frontal con las áreas temporales y parietales y, que, en niños con dislexia, tienden a tener un desempeño menos eficiente al ser observada con las nuevas técnicas de imagen. Ello explicaría los problemas asociados al procesamiento del lenguaje escrito (Deutsch *et al.*, 2005).

Figura 1.

Área de asociación parieto-occipito-temporal



Nota. Funciones de la corteza cerebral: áreas de Wernicke, Broca y de asociación límbica. Elsevier

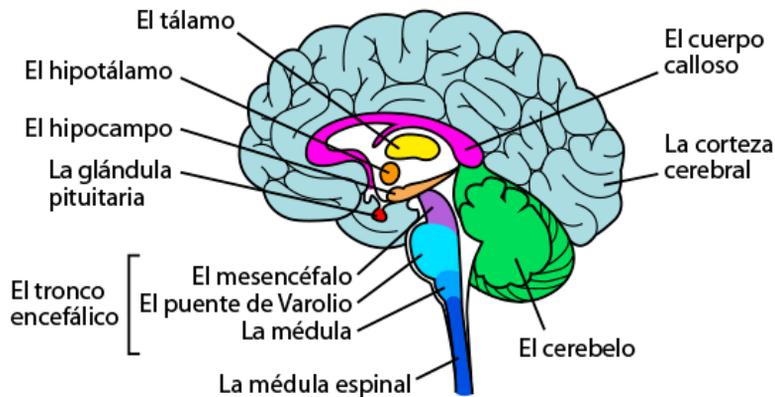
Con relación a los problemas del aprendizaje asociados al cálculo, se ha encontrado que existen alteraciones estructurales y funcionales específicas en el cerebro que pueden brindar una explicación al problema. Las investigaciones (Ashkenazi *et al.*, 2013; De Smedt *et al.*, 2019) han identificado anomalías en la corteza parietal, especialmente en el surco intraparietal (SIP) y otras regiones del lóbulo parietal posterior. Los niños diagnosticados con discalculia presentan activaciones atípicas en estas áreas, que son fundamentales para el procesamiento numérico y aritmético, sugiriendo un problema en la especialización funcional asociada a estos sistemas.

Otra estructura relevante en la aparición de problemas con el cálculo está asociada con el tálamo (ver figura 2). Los investiga-

dores (Kovas *et al.*, 2007; Piazza *et al.*, 2007) han encontrado una menor activación en el tálamo en niños diagnosticados con discalculia, la cual se ha asociado con dificultades en la estimación numérica. Esto apunta a que dicha estructura podría tener un rol importante en la mediación entre la información numérica y otras áreas del cerebro, como el lóbulo frontal. En los niños con discalculia también se ha encontrado que la corteza prefrontal, implicada en el proceso de estimación numérica y control cognitivo, se encuentra afectada. Diversos estudios (Jacob y Nieder, 2009; Nieder y Miller, 2003) han demostrado una activación deficitaria en estas áreas en los niños con dicha condición, indicando un patrón de conectividad alterado que contribuye a dificultades en la aritmética.

Figura 2

Estructuras que componen el cerebro medio



Nota. Dr. Biology, 2017.

Por otra parte, otros investigadores (Rykhlevskaia *et al.*, 2009) identificaron que la integridad de la materia blanca, la cual conectan la SIP y las regiones parietales, también está comprometida en niños con discalculia. Los investigadores, haciendo uso de imágenes por tensor de difusión (DTI), evidenciaron una menor integridad de las conexiones entre el córtex prefrontal y la corteza parietal, lo que podría explicar las dificultades en la coordinación de funciones cognitivas como la memoria de trabajo, indispensable en la ejecución del cálculo y otras funciones cognitivas.

Siguiendo esta ruta de investigaciones sobre los trastornos específicos del aprendizaje, la disgrafía ha sido explorada mediante estudios de neuroimagen, a través del análisis de casos con lesiones cerebrales adquiridas. Los investigadores (Van Hoorn *et al.*, 2013) han encontrado que la disgrafía está asociada a disfunciones en las redes supraspinales que incluyen varias regiones corticales del cerebro y cerebelo, aunque no ha sido posible delimitar un área neurobiológica en específico. Otros investigadores (Richards *et al.*, 2015), utilizando fMRI y DTI, han demostrado que los niños con disgrafía y dislexia tienen menos conexiones en la materia blanca y más enlaces funcionales en la materia gris, que los niños sin esta condición. Lo anterior podría indicar que sus cerebros

deben esforzarse más para realizar una tarea de lenguaje, lo que afectaría la eficacia en su procesamiento.

Lo anterior es solamente un breve vistazo de las relaciones entre cerebro y funciones cognitivas. Un enfoque neurocientífico de los trastornos específicos del aprendizaje proporciona una comprensión amplia de la etiología del fenómeno, pues integra los conocimientos desde la neurobiología hasta las ciencias cognitivas. Además, proporciona un enfoque basado en evidencia, el cual promueve tratamientos eficaces para cada una de estas condiciones. Incluso, como se aborda más adelante, es capaz de proporcionar estrategias preventivas, reduciendo el riesgo de aparición de los trastornos.

Aunque es fascinante conocer el cerebro a través de los trastornos específicos del aprendizaje, desafortunadamente no es posible en una única entrega presentar los principales hallazgos y modelos teóricos que expliquen todos estos fenómenos, pues no se haría justicia en unos cuantos párrafos explorar lo referente a la dislexia, la discalculia, la disgrafía, disortografía, entre otros. Por lo que en esta ocasión se profundiza en la dislexia, no solamente por el favoritismo científico que existe (es decir, las investigaciones se han inclinado más por el estudio de este trastorno, recopilando más

evidencia tanto en etiología como en efectividad de tratamientos) sino también por la prevalencia según las estadísticas actuales y la urgente necesidad de atención que esto significa. A través de esta condición, se ha logrado conocer mucho del funcionamiento del cerebro y del aprendizaje.

2. Dislexia: cerebro y lenguaje

Durante las últimas décadas del siglo XX y las primeras del siglo XXI, los avances en neurociencia están proporcionando una comprensión cada vez más profunda sobre los mecanismos subyacentes a los trastornos específicos del aprendizaje, permitiendo desarrollar modelos explicativos, terapéuticos y educativos más eficaces y personalizados. El trastorno específico del aprendizaje de la lectura, llamado

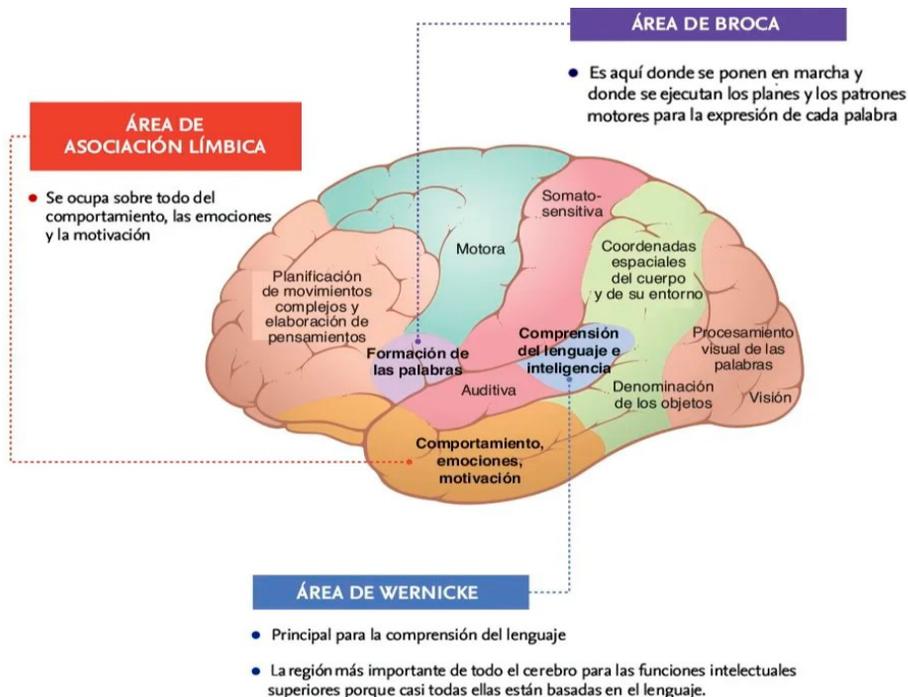
comúnmente dislexia, ha sido uno de los objetos de estudio más investigados y de los que se poseen a la fecha, conocimientos más amplios y sólidos.

2.1 Procesamiento neuronal de la lectura

La lectura es un proceso complejo que involucra la integración de múltiples sistemas, regiones y estructuras neuronales, siendo una de las áreas más estudiadas la circunvolución fusiforme, específicamente, una región dentro de esta que se conoce como área de la formación visual de la palabra (VWFA) (ver figura 3). Esta región está situada en la vía ventral del cerebro y se activa de manera consistente cuando los individuos alfabetizados procesan una secuencia de letras y palabras.

Figura 3:

Área de Broca, Wernicke, de asociación y otras áreas funcionales involucradas



Nota. Funciones de la corteza cerebral: áreas de Wernicke, Broca y de asociación límbica.

Fuente. Tomado de Elsevier

Las investigaciones (Cohen y Dehaene, 2004; Ding *et al.*, 2023) han encontrado que los niños con dislexia poseen una hipoactivación de la VWFA durante las tareas de lectura, lo que podría indicar una posible causa en la dificultad para procesar la información visual de las palabras. No obstante, también han encontrado que esta disminución en la activación no solo afecta el reconocimiento de las palabras, sino que trae consigo un impacto en la fluidez lectora. Es decir, afecta la capacidad para leer de manera rápida y precisa, apuntando a que esta posee múltiples propósitos, siendo capaz de abarcar toda una serie de capacidades funcionales dentro del proceso de lectura.

El rol de la VWFA permite que el cerebro procese las palabras de manera rápida y eficiente, lo que la convierte en un componente esencial en la adquisición del lenguaje, específicamente en la lectura fluida y comprensiva. En la clínica es palpable notar esto, pues los niños y adolescentes con dislexia leerán de forma pausada e, incluso, de leer de forma fluida, su comprensión no será satisfactoria.

2.2 Conectividad funcional y redes neuronales

Aparte de la activación de las áreas específicas antes mencionadas, la fluidez lectora depende de una correcta conectividad funcional entre las diferentes regiones del cerebro implicadas en la lectura. Un concepto fundamental es el de conectividad funcional en estado de reposo (*resting state functional connectivity*, RSFC, por sus siglas en inglés) entre sistemas funcionales clave, como la circunvolución fusiforme y todas aquellas relacionadas con la fonología y la articulación del lenguaje.

Se ha comprobado (Koyama *et al.*, 2011) que los niños con dislexia poseen una conectividad menos robusta entre RSFC y VWFA, en comparación con el procesamiento fonológico de niños y adultos que se denominan como lectores competentes. observándose

conexiones fuertes entre estas áreas, lo que facilita un procesamiento de lectura más automatizado y eficiente. Otros estudios (Gosse *et al.*, 2022; Langer *et al.*, 2015) realizados con fMRI han revelado que los déficits en la fluidez lectora están asociados no solo con una RSFC menos conectada con la VWFA, sino que esta impacta durante tareas que requieren una lectura rápida de un material. Esto sugeriría que los cerebros de los niños con dislexia no solo procesan la información de una manera más lenta sino que requieren un esfuerzo cognitivo mayor para lograr leer al mismo ritmo que sus pares no disléxicos.

La conectividad funcional es, por tanto, no solo la conexión cuasi pasiva de las áreas antes mencionadas, sino la capacidad de un individuo para activarlas a voluntad, cuando una tarea lo requiera.

2.3 Neuroimagen y procesamiento del lenguaje

Las tecnologías de neuroimagen como la tomografía de emisión de positrones y la fMRI, han sido fundamentales en el mapeo de las áreas del cerebro involucradas en el procesamiento del lenguaje y la lectura. Durante las últimas décadas, se conoce más sobre las amplias redes de áreas cerebrales, más allá de la VWFA, asociadas al procesamiento auditivo y fonológico, como la corteza temporal superior o mejor conocida como área de Broca.

Los estudios de neuroimagen (Price, 2012; Saralegui *et al.*, 2014) han mostrado que los niños con dislexia presentan patrones de activación atípicos en el área de Broca, la cual está relacionada con la producción del habla y la articulación de este, que a su vez también está menos sincronizada con la VWFA. Ello contribuye a las dificultades en la fluidez lectora de los niños que padecen este trastorno. Estos hallazgos parecen sugerir que la dislexia no solo es un fenómeno relacionado con la percepción visual, como lo plantearon algunos modelos explicativos, sino que involucra un déficit funcional integrado

por la percepción visual y el procesamiento fonológico.

3. Dislexia: bases biológicas

Los trastornos específicos del aprendizaje, particularmente la dislexia, han sido ampliamente estudiados desde un enfoque neurocientífico durante las últimas décadas. Los estudios han permitido identificar los mecanismos neurobiológicos subyacentes a estas condiciones del desarrollo durante la infancia, proporcionando un marco para la ejecución de intervenciones efectivas e incluso personalizadas.

3.1 Neurobiología de la dislexia

La dislexia es una condición de la salud mental que tiene su inicio en la infancia y se caracteriza por alteraciones en múltiples regiones cerebrales, sistemas funcionales y estructuras, predominantemente ubicadas en el hemisferio izquierdo.

Las investigaciones (Meyler *et al.*, 2007; Shaywitz *et al.*, 2004; van der Mark *et al.*, 2011) han demostrado de forma consistente que los niños con dislexia presentan hiperactivación en la corteza occipitotemporal izquierda y parietotemporal (estas áreas incluyen la circunvolución fusiforme y el surco temporal), regiones asociadas al procesamiento fonológico, la decodificación de la palabra escrita y la integración de la información ortográfica. También se ha observado que, ante estos déficits, los individuos con dislexia exhiben una activación en el giro frontal inferior derecho (IFG). Esto es similar al observado en múltiples personas comprometidas neurológicamente en su proceso lector y que está asociado como una forma “compensatoria”, una actividad para mitigar los déficits, que realiza el cerebro para desarrollar el proceso de lectura.

Un estudio longitudinal (Hoeft *et al.*, 2011) encontró que una mayor activación del IFG derecho durante tareas de procesamiento fonológico es un predictor de mejoras en

las habilidades de lectura en los niños con dislexia. Este hallazgo es importante, pues indica que las vías neuronales no tradicionales tienen un papel en la recuperación del proceso lector. Por tanto, abre otras posibles estrategias de intervención apoyándose en estas fortalezas neurobiológicas.

3.2 Mecanismos neurobiológicos de la dislexia

A pesar de que la dislexia y la discalculia comparten bases neurobiológicas, presentan características diferenciadoras únicas. La dislexia está asociada a áreas cerebrales y sistemas deficitarias del procesamiento fonológico, mientras que la discalculia está relacionada con la manipulación de cantidades numéricas y con la activación atípica de la circunvolución intraparietal (IPS) (Kucian *et al.*, 2006). Otros investigadores sugieren que estas diferencias neurobiológicas se traducen en perfiles cognitivos distintos, justificando la necesidad de una intervención diferenciada para cada tipo de trastorno del aprendizaje, específicamente entre dislexia y discalculia (Ashkenazi *et al.*, 2013).

Por otra parte, la comorbilidad dislexia-discalculia podría estar mediada por disfunciones en sistemas neuronales de dominio general, como la corteza prefrontal, la cual juega un rol esencial tanto en la lectura como en el cálculo. Este solapamiento funcional (y concurrente) sugiere que las alteraciones en esas regiones cerebrales contribuyen a la manifestación de ambos trastornos en un mismo sujeto, planteando la necesidad de que las intervenciones dirigidas a subsanar dichos déficits han de enfocarse en mejorar la función de las áreas que poseen dominios cognitivos múltiples (Menon, 2010).

4. Detectando la dislexia

La evaluación neuropsicológica es una pieza fundamental para comprender e intervenir en los trastornos del aprendizaje. La evaluación neuropsicológica explora múltiples áreas cognitivas relacionadas con el proceso

de aprendizaje, lo que proporciona un diagnóstico detallado que, a su vez, permite plantear una intervención personalizada. No obstante, esto solo se logra a través de la aplicación de varias pruebas neuropsicológicas, en las que cada una aporta el estado de un dominio cognitivo. A este tipo de aplicación de varias pruebas se le denomina batería psicodiagnóstica. No obstante, cabe mencionar que aun con el avance que han tenido estos instrumentos, existen limitaciones importantes. Muchos instrumentos neuropsicológicos y similares no han sido estandarizados en población latina. Es decir, requieren un nivel de culturización de parte de los pacientes que difiere de los países en vías de desarrollo y, además, sus costos de adquisición son elevados.

4.1 Importancia de la evaluación neuropsicológica

La evaluación neuropsicológica es, en la actualidad, una herramienta indispensable en el diagnóstico de los trastornos del aprendizaje. Esto debido a su capacidad para identificar los déficits específicos en el funcionamiento cognitivo, tales como la memoria, la atención, el lenguaje, habilidades visoespaciales, control de impulsos, funciones ejecutivas, entre otros.

Según Fennell (1995), la evaluación neuropsicológica para los trastornos del aprendizaje es capaz de ofrecer un perfil detallado de fortalezas y debilidades cognitivas de un individuo, lo cual facilita el diseño de intervenciones efectivas y personalizadas que aborden las necesidades únicas de cada persona. Así mismo, las evaluaciones neuropsicológicas también permiten la detección de trastornos subyacentes, como pueden ser disfunciones en el sistema nervioso central, las cuales tienen un impacto significativo en el rendimiento académico. Por ejemplo, Obrzut *et al.* (1983), encontraron que ciertas pruebas neuropsicológicas como la escala verbal del WISC-R o test de escucha dicótica, son herramientas valiosas para diferenciar a niños con y sin trastornos del aprendizaje, pues estas son

sensibles en la identificación de deficiencias en el procesamiento auditivo y verbal, lo que resulta fundamental para una correcta clasificación diagnóstica y posterior intervención.

4.2 Componentes de la evaluación neuropsicológica

La evaluación neuropsicológica (Fennell, 1995) incluye una amplia variedad de pruebas diseñadas para la medición de distintos dominios cognitivos. Cada una de estas herramientas proporciona información sobre las capacidades y dificultades de cada individuo. A continuación, se presentan las principales áreas cognitivas que pueden ser evaluadas con pruebas neuropsicológicas:

- **Evaluación de la inteligencia:** La inteligencia es un componente clave en la evaluación de los trastornos del aprendizaje. Entre las pruebas con mayor nivel de confiabilidad están las Escalas Wechsler para Niños (WISC), Matrices Pruebas de Inteligencia, TONI-4, entre otras. Cada una de estas permiten conocer la capacidad de razonamiento verbal y no verbal, lo que resulta útil en la evaluación de los trastornos del aprendizaje. Además, proporcionan un valor de cociente intelectual (C.I.) que ha de considerarse en la planificación de estrategias de intervención. No es extraño que los niños con dislexia y otros trastornos del aprendizaje presenten bajas puntuaciones de C.I. como consecuencia de los déficits en otras áreas cognitivas, especialmente si las pruebas psicológicas evalúan la manipulación del lenguaje.
- **Evaluación de la memoria y la atención:** En los niños con trastornos del aprendizaje estas funciones cognitivas usualmente están afectadas, por lo que una evaluación de diagnóstico ha de incluir pruebas que compran el desempeño del individuo ante diferentes tipos de estímulos (verbal frente a visoespacial) y modalidad (auditiva frente a escrita). Entre las pruebas más comunes para la medición de la atención se encuentra el Test de Stroop, d2 de

Atención, Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (esta última solo aplica en adultos). Entre aquellas que evalúan la memoria se encuentran la Figura Compleja de Rey-Osterrieth, Test de Memoria Auditiva y Visual de Rey, subprueba de memoria de WISC-V, NEURO Kid, entre otras. Un análisis detallado de esta área cognitiva orienta al profesional en el diagnóstico y en diseñar intervenciones que mejoren la atención y retención de la información, especialmente la verbal y todo lo que esto implica.

- **Habilidades visoespaciales y motoras:** Aunque las dificultades visoespaciales rara vez son la causa de los trastornos del aprendizaje, estas áreas pueden influir significativamente en el rendimiento académico, especialmente en el cálculo y la escritura. Las pruebas que usualmente se utilizan para ello son el Test Gestáltico Visomotor de Bender, Test de Percepción de Diferencias (DTVP-3), Test de Percepción Visual de Benton, NEURO Kid, entre otras. Un análisis de estas áreas contribuiría al diagnóstico y a diseñar estrategias de intervención que fortalezcan o desarrollen la orientación espacial y las habilidades motoras gruesas y finas.
- **Funciones ejecutivas:** Esta es, quizás, una de las áreas cognitivas más complejas, pues no “es un dominio cognitivo” en específico, sino un conjunto de funciones cognitivas como la planificación, organización, autorregulación, flexibilidad cognitiva, inclusive la creatividad. Los déficits ejecutivos se manifiestan en dificultades en completar tareas, organizar el trabajo escolar, seguir instrucciones complejas, autorregular el procesamiento cognitivo y la conducta. Las pruebas neuropsicológicas más comunes para la evaluación de las funciones ejecutivas son el Test de Stroop, el Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin, Torre de Londres, Brief-II, entre otros. La evaluación neuropsicológica de las funciones ejecutivas es de rigor en la identificación de los trastornos especí-

ficos del aprendizaje, pues al igual que el C.I. marcan un punto de partida sobre las fortalezas cognitivas que pueden ayudar a compensar otras menos desarrolladas.

- **Procesamiento auditivo y del lenguaje:** Esta es el área crucial de evaluación neuropsicológica en niños con trastornos del aprendizaje, especialmente en aquellos en los que se sospecha dislexia. Las pruebas que miden estos dominios cognitivos evalúan la capacidad para procesar, discriminar y comprender sonidos, expresar ideas de formas claras y coherentes. Entre las principales pruebas para estos objetivos se encuentran: BANETA, Prolexia, PLON-R, ITPA, entre otras.
- **Otras áreas de evaluación:** Los niños con trastornos del aprendizaje usualmente pueden requerir otras pruebas, como puede ser un electroencefalograma, para descartar organicidad; el SPM, para evaluar la integración sensorial y potenciales evocados auditivos; el Sistema de Evaluación de Niños y Adolescentes (SENA), que evalúa retrasos en el desarrollo, problemas de aprendizaje, situación emocional y problemas familiares, entre otros. Estas pruebas serán un complemento que pueden, incluso, ayudar a descartar un trastorno del aprendizaje o bien confirmarlo con mayor seguridad.

4.3 Implicaciones terapéuticas derivadas de una adecuada evaluación diagnóstica

La evaluación neuropsicológica es fundamental para un diagnóstico de trastornos del aprendizaje, pues identifica los déficits en la memoria, la atención, motricidad, las funciones ejecutivas, entre otros, los cuales se encuentran afectados en los niños con dislexia, facilitando un diagnóstico más preciso. Esto, a su vez, proporciona la información suficiente para el diseño de intervenciones terapéuticas y educativas personalizadas para cada paciente (Als y Duffy, 1989).

Además, la evaluación neuropsicológica revela las fortalezas cognitivas, las cuales pueden ser aprovechadas para compensar las áreas de debilidad de un niño (Obrzut *et al.*, 1983). Tal podría ser el caso de un niño que tiene dificultades con la lectura, pero muestra una alta capacidad para el razonamiento matemático, es muy probable que pueda beneficiarse de un enfoque de enseñanza que integre sus fortalezas en el cálculo para superar sus debilidades en la lectura. Del mismo modo puede suceder con niños con problemas en áreas como la función ejecutiva o memoria de trabajo.

Por último, se podría afirmar que la evaluación neuropsicológica posee un rol importante en la comunicación con los padres, maestros y otros profesionales involucrados en la educación y terapéutica del niño. Los resultados de dichas evaluaciones proporcionan una base sólida para explicar el porqué de las dificultades del niño; permite establecer expectativas e intervenciones realistas a la vez que fomenta el trabajo interdisciplinario e involucra a los padres dentro del proceso.

Los métodos e instrumentos de evaluación neuropsicológica son herramientas que brindan una comprensión profunda de los trastornos del aprendizaje y sus concomitantes, que son muy usuales. No obstante, es importante que la evaluación siempre vaya acompañada de una entrevista clínica y, en estos casos, es preferible un análisis multidisciplinar. Lo anterior dado que los trastornos del aprendizaje, al ser una categoría heterogénea de fenómenos, requiere del trabajo en equipo de profesionales.

5. Intervenciones y tratamientos basados en la neurociencia

Los trastornos del aprendizaje como la dislexia han sido objeto de un gran número de investigaciones, debido al impacto en el desempeño escolar, social, psicológico-emocional en quienes lo padecen. En respuesta a esta situación, la neurociencia ha desarrollado enfoques que integran tanto el conocimiento

que se posee sobre el cerebro, su estructura y funcionamiento, con estrategias terapéuticas diseñadas para mejorar y compensar las habilidades académicas y cognitivas en niños con dislexia u otros trastornos del aprendizaje. Estas intervenciones neurocientíficas tienen su base en la premisa de que es posible modular la actividad cerebral de forma voluntaria mediante técnicas específicas, lo que se traduce en mejoras en los procesos de lectura, escritura y otras funciones cognitivas.

5.1 Estimulación cerebral

Entre las técnicas modernas y más investigadas en el tratamiento de la dislexia desde un enfoque neurocientífico se encuentra la estimulación cerebral. Este tipo de tratamiento se fundamenta en el supuesto de que el proceso de aprendizaje de la lectura está mediado, durante las primeras etapas del desarrollo, por el hemisferio derecho y en etapas más avanzadas por el izquierdo.

Según Bakker (1992), la dislexia puede clasificarse en dos subtipos. El Tipo L se asocia con un control predominante en el hemisferio izquierdo; y tipo P, asociada con un control predominante en el hemisferio derecho. Estos subtipos se benefician de la técnica de estimulación hemisférica específica (HSS), brindando un tratamiento diferenciado que estimula cada área. Por ejemplo, en niños con tipo L se han implementado estímulos visuales o táctiles para promover una mayor integración con el hemisferio derecho; en niños con tipo P, se les hace escuchar una serie de palabras, las cuales deberán dividirlas en fonemas, lo que promueve una mayor compensación con el hemisferio izquierdo. La presentación de estímulos como palabras, letras en campos visuales específicos o en la mano opuesta logra que la información se procese preferentemente en los hemisferios en donde sea necesario el tratamiento.

La HSS ha demostrado ser efectiva en estudios experimentales y de campo, sugiriendo que la intervención neuropsicológica específica a cada hemisferio tiene un impacto

en la compensación de los déficits ocasionados por la dislexia u otros trastornos del aprendizaje en la infancia (Bakker, 1990; Van Strien *et al.*, 1990).

5.2 Intervenciones neurocognitivas

No solamente la estimulación hemisférica es una técnica de tratamiento para la dislexia u otros trastornos del aprendizaje. Las intervenciones cognitivas son igualmente efectivas como técnicas de tratamiento. Sabeghi *et al.*, (2022) estudió la efectividad de los programas propuestos por Kolkman y colaboradores y Gray y colaboradores, de intervención neuropsicológicas para las mejoras de las funciones ejecutivas y el rendimiento en la lectura en niños con dislexia. Estos programas consisten en el entrenamiento de la atención auditiva, claridad auditiva, sensibilidad fonológica, comprensión de oraciones y problemas, comprensión de contenido auditivo, de palabras y conceptos, refuerzo de la planificación para metas a corto plazo, diseño de cubos, construcción de torres, mantenimiento y recuerdo de detalles de una tarea, clasificación de cartas por color, forma y tamaño, entre otros aspectos. Este encontró que existen mejoras significativas en áreas claves de las funciones ejecutivas cuando se consideran los conocimientos neurocientíficos en el diseño de programas de intervención cognitiva (programa de lectura estructurados, entrenamiento de la memoria de trabajo, entre otros), para niños con trastornos del aprendizaje. De hecho, existe correlación entre intervenciones basadas en neurociencia y un aumento en la precisión y velocidad de lectura, memoria de trabajo, flexibilidad cognitiva, control inhibitorio y funciones ejecutivas. Por tanto, considerar la forma en la que funciona el cerebro de los niños con dislexia u otros trastornos del aprendizaje es fundamental para intervenir efectivamente.

Las intervenciones cognitivas basadas en neurociencias no solo tienen el propósito de mejorar las habilidades académicas, sino que abordan los déficits cognitivos subyacentes a los trastornos del aprendizaje. Integrar los

aportes de las neurociencias en las intervenciones permite al profesional ofrecer una respuesta más completa y eficaz a los niños afectados con estos trastornos y sus concomitantes.

5.3 El diagnóstico: guía para una adecuada intervención

Las intervenciones con base en los hallazgos en neurociencias son efectivas para los niños con dislexia u otros trastornos del aprendizaje. Sin embargo, estas intervenciones no pueden ser diseñadas y refinadas sin un apropiado diagnóstico, el cual solo puede obtenerse aplicando las pruebas neuropsicológicas pertinentes para este objetivo.

Anteriormente se mencionaron de forma breve las pruebas neuropsicológicas más comunes y apropiadas para este fin. En tal sentido, solo queda señalar y recalcar que los estudios de metaanálisis (Wanzek *et al.*, 2018; Wanzek y Vaughn, 2007) han encontrado que la identificación diagnóstica adecuada y la apropiada intervención basada en evidencia son la llave para la mejora de la atención de los déficits neurocognitivos de los niños con trastornos específicos del aprendizaje.

En tal sentido, padres, educadores y terapeutas han de ser exigentes en los procesos de evaluación de niños con sospecha de trastornos específicos del aprendizaje (o cualquier otra afectación de la salud mental). De tal forma, se deben aplicar las baterías de pruebas adecuadas que permitan un psicodiagnóstico preciso, a fin de obtener una intervención exitosa.

6. Avances y futuras direcciones

6.1 Avances recientes en neurociencia y trastornos específicos del aprendizaje

Cada vez existen más pruebas (Cohen Kadosh *et al.*, 2013; Theodoridou *et al.*, 2021; Wanzek y Vaughn, 2007) del cómo los factores ambientales son un componente de riesgo para el desarrollo de la dislexia. El

estrés en las primeras etapas de la vida, la expresión génica, un ambiente poco estimulante, la configuración del funcionamiento de eje HPA, entre otros, son factores que anteriormente no contaban como componentes notables a considerar en la explicación de la dislexia y los trastornos del aprendizaje.

En los últimos 20 años, la investigación en neurociencia ha logrado avances significativos en la comprensión y tratamiento de los trastornos del aprendizaje, particularmente la dislexia, discalculia y sus concomitantes, que están relacionados con la adquisición de habilidades académicas básicas. Entre los hallazgos más prominentes en los últimos años está la consideración de la plasticidad neuronal como un elemento no solo explicativo sino como apoyo para la intervención.

Los datos recientes (Raskin, 2011) han revelado que la plasticidad neuronal no solo facilita la adquisición de nuevas habilidades, sino que impulsa la reorganización funcional en el cerebro de los niños con dislexia. Según Tallal y Jenkins (2018), las intervenciones basadas en neurociencia diseñadas para el tratamiento de niños con dislexia, mejora las conexiones neuronales en áreas cerebrales relacionadas con el lenguaje, tales como la circunvolución frontal inferior y el giro angular.

6.2 Nuevas técnicas de intervención

El desarrollo de la tecnología no solamente ha revolucionado la vida cotidiana. También ha proporcionado técnicas con un alto grado de eficacia en el tratamiento de los trastornos del aprendizaje. Entre las técnicas más prometedoras se encuentra la estimulación eléctrica transcraneal (TES), una técnica no invasiva que modula la excitabilidad cortical y facilita la plasticidad cerebral, reorganizando las redes neuronales necesarias para un adecuado rendimiento académico. Además, esta técnica se combina con programas de entrenamiento cognitivo para mejorar de forma significativa las funciones cognitivas en niños y adolescente, particularmente la memoria de trabajo,

habilidades numéricas y funciones ejecutivas (Karch *et al.*, 2013).

Entre las tendencias también se encuentran la creación de videojuegos educativos. Estos han sido diseñados para involucrar a los niños en actividades que requieren el uso de ciertas habilidades cognitivas específicas, como la resolución de problemas y la toma rápida de decisiones. Dichos juegos no solamente tienden a ser atractivos, sino que proporcionan un medio para practicar y mejorar las habilidades fundamentales para el aprendizaje académico (Cohen Kadosh *et al.*, 2013).

No obstante, la intervención con técnicas de vanguardia plantea el desafío ético en las ciencias de la salud, en donde el salvaguardar toda vida humana es su piedra angular. Pero gracias al avance tecnológico, los riesgos en tratamientos novedosos se reducen y la seguridad de su aplicación tiene mayores garantías.

6.3 La neuroeducación como técnicas de intervención

La neuroeducación es un campo de estudio emergente que, en los últimos años, pretende aplicar los conocimientos ofrecidos por la neurociencia para mejorar las prácticas educativas. Los descubrimientos sobre la conectividad funcional de diferentes sistemas en el cerebro, la activación de estos durante tareas de lectura, entre otros, impulsan estrategias novedosas y personalizadas de intervención para los trastornos del aprendizaje.

Una muestra de lo anterior lo describen Ansari *et al.* (2011): (a) las intervenciones con base en prácticas repetitivas de la lectura a diferentes velocidades fortalecen la VWFA y mejora la fluidez lectora en niños con dislexia; (b) la adaptación de programas educativos que consideren las variaciones en el desarrollo de las redes neuronales logra adaptarse mejor a las necesidades de cada estudiante, especialmente de aquellos con problemas de aprendizaje.

6.4 Neurociencia y práctica educativa

La comprensión de los fundamentos de la neurociencia en relación con los trastornos del aprendizaje tiene avances significativos gracias a la investigación en neuroimagen y sus hallazgos sobre la conectividad funcional, pues no todos los problemas de la salud mental son causados por anomalías estructurales.

Los conocimientos que ofrecen las neurociencias sobre estos trastornos brindan una visión más clara no solo del cómo se desarrolla y operan las redes o sistemas neuronales en la lectura, sino que abren nuevas rutas para la intervención. Por tanto, una integración entre los conocimientos y la práctica educativa promete mejorar los resultados para los estudiantes con dislexia u otros trastornos específicos del aprendizaje, proporcionando un enfoque más personalizado y eficaz para tratar sus necesidades.

6.5 Futuro y direcciones de investigación

Entre los principales desafíos para las futuras investigaciones es encontrar las relaciones entre bases neurobiológicas y los trastornos del aprendizaje como la dislexia profunda, la discalculia severa y trastornos de la expresión escrita; estos fenómenos que frecuentemente coexisten con otros problemas neurológicos o psiquiátricos, requieren de intervenciones más sofisticadas por la intensidad en la que se manifiestan; también, existe el reto de ampliar la investigación para incluir a poblaciones menos investigadas, tal es el caso de los adultos que han vivido con sus trastornos del aprendizaje sin recibir intervención adecuada en su niñez, lo que podría proporcionar información valiosa sobre cómo los trastornos del aprendizaje afectan el desarrollo del cerebro en la edad adulta y como una intervención tardía puede ser aprovechada mejor (Fletcher y Grigorenko, 2017).

Otro reto igual de significativo es la identificación de factores moduladores que influyen en la eficacia de las intervenciones

terapéuticas en niños con dislexia. Conocer cómo estos fenómenos influyen según el sexo, edad, nivel de educación y factores genéticos, contribuiría a comprender cómo interactúan con las intervenciones cognitivas y la estimulación cerebral, conduciendo al diseño de tratamientos más personalizados y con resultados de mejora a largo plazo (Krafnick y Evans, 2019).

Por último, los avances de la neurociencia plantean preguntas éticas importantes como la equidad en el acceso a los nuevos tratamientos y tecnologías, el potencial uso indebido de técnicas de neuromodulación en entornos educativos y otros aspectos que deberán ser cuidadosamente considerados en investigaciones futuras, con el fin de asegurar que los beneficios de los avances neurocientíficos sean accesibles y se utilicen de manera responsable.

7. Conclusiones

La neurociencia cada vez acerca al ser humano a una comprensión más profunda de las bases neurobiológicas, la neuropsicología del comportamiento y los tratamientos más adecuados cuando existen patologías como los trastornos del aprendizaje.

La dislexia es un fenómeno que, aunque ha tomado décadas de estudio, sigue siendo objeto de controversias, tanto en la búsqueda de sus causas como en estrategias de intervención basadas en evidencia. Además, se está muy lejos de poder brindar una respuesta terapéutica satisfactoria a todos los niños que presentan algunas de las psicopatologías relacionadas con los trastornos del aprendizaje. La forma con la que las conexiones cerebrales suceden es única, tan diversa como cada ser humano, por lo que solo se pueden tener nociones generales de las conexiones neuronales funcionales, no una norma.

Las investigaciones seguirán proporcionando datos empíricos relevantes, pero no significan nada cuando no son puestos en práctica por los profesionales involucrados en el aprendizaje de los niños y adolescentes.

El llamado a servir de forma desinteresada y por el bien del otro es siempre una premisa para los profesionales, especialmente aquellos que se dedican a la formación y el cuidado de niños y adolescentes con dificultades. Por ende, buscar programas de actualización y especialización también facilitarán la puesta en práctica de intervenciones basadas en evidencia, lo cual parte de la noble labor que significa enseñar y cuidar.

8. Referencias

- Als, H. y Duffy, F. H. (1989). Neurobehavioral assessment in the newborn period: Opportunity for early detection of later learning disabilities and for early intervention. *Birth Defects Original Article Series*, 25(6), 127-152.
- Ansari, D., De Smedt, B. y Grabner, R. H. (2011, 22 de junio). Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field. *Neuroethics*, 5, 105-117. <https://doi.org/10.1007/s12152-011-9119-3>
- Ashkenazi, S., Black, J. M., Abrams, D. A., Hoefft, F. y Menon, V. (2013, 9 de abril). Neurobiological Underpinnings of Math and Reading Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 46(6), 549-569. <https://doi.org/10.1177/0022219413483174>
- Bakker, D. J. (1990). *Neuropsychological Treatment of Dyslexia*. Oxford University Press.
- Bakker, D. J. (1992). Neuropsychological Classification and Treatment of Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 25(2), 102-109. <https://doi.org/10.1177/002221949202500203>
- Barlow, D. H., Durand, V. M. y Hofmann, S. G. (2016). *Abnormal Psychology: An Integrative Approach*. Cengage Learning.
- Cohen, L. y Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage*, 22(1), 466-476. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.049>
- Cohen Kadosh, R., Dowker, A., Heine, A., Kaufmann, L. y Kucian, K. (2013). Interventions for improving numerical abilities: Present and future. *Trends in Neuroscience and Education*, 2(2), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.04.001>
- De Smedt, B., Peters, L. y Ghesquière, P. (2019). Neurobiological Origins of Mathematical Learning Disabilities or Dyscalculia: A Review of Brain Imaging Data. En A. Fritz, V. G. Haase y P. Räsänen (Eds.), *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom* (pp. 367-384). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3_23
- Deutsch, G. K., Dougherty, R. F., Bammer, R., Siok, W. T., Gabrieli, J. D. E. y Wandell, B. (2005). Children's Reading Performance is Correlated with White Matter Structure Measured by Diffusion Tensor Imaging. *Cortex*, 41(3), 354-363. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(08\)70272-7](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(08)70272-7)
- Ding, G., Li, H. y Feng, X. (2023). Detecting the visual word form area in a bilingual brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(7), 603-604. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2023.05.003>
- Dr. Biology. (2017, 31 de mayo). ¿Qué hay en tu cerebro? ASU-Ask A Biologist. <https://askbiologist.asu.edu/que-hay-en-tu-cerebro>
- Fennell, E. B. (1995). The Role of Neuropsychological Assessment in Learning Disabilities. *Journal of Child Neurology*, 10(1_suppl), S36-S41. <https://doi.org/10.1177/08830738950100S109>
- Fletcher, J. M. y Grigorenko, E. L. (2017). *Neuropsychology of Learning*

- Disabilities: The Past and the Future. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 23(9-10), 930-940. <https://doi.org/10.1017/S1355617717001084>
- Gosse, C., Dricot, L. y Van Reybroeck, M. (2022). Evidence of Altered Functional Connectivity at Rest in the Writing Network of Children with Dyslexia. *Brain Sciences*, 12(2), 243. <https://doi.org/10.3390/brainsci12020243>
- Hoefl, F., McCandliss, B. D., Black, J. M., Gantman, A., Zakerani, N., Hulme, C., Lyytinen, H., Whitfield-Gabrieli, S., Glover, G. H., Reiss, A. L. y Gabrieli, J. D. E. (2011). Neural systems predicting long-term outcome in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(1), 361-366. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008950108>
- Jacob, S. N. y Nieder, A. (2009). Tuning to non-symbolic proportions in the human frontoparietal cortex. *The European Journal of Neuroscience*, 30(7), 1432-1442. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06932.x>
- Karch, D., Albers, L., Renner, G., Lichtenauer, N. y von Kries, R. (2013). The Efficacy of Cognitive Training Programs in Children and Adolescents. *Deutsches Ärzteblatt International*, 110(39), 643-652. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2013.0643>
- Kovas, Y., Haworth, C. M. A., Dale, P. S. y Plomin, R. (2007). The genetic and environmental origins of learning abilities and disabilities in the early school years. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 72(3), 1-144. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17995572/>
- Koyama, M. S., Di Martino, A., Zuo, X.-N., Kelly, C., Mennes, M., Jutagir, D. R., Castellanos, F. X. y Milham, M. P. (2011). Resting-State Functional Connectivity Indexes Reading Competence in Children and Adults. *JNeurosci, The Journal of Neuroscience*, 31(23), 8617-8624. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4865-10.2011>
- Krafnick, A. J., y Evans, T. M. (2019, 10 de enero). Neurobiological Sex Differences in Developmental Dyslexia. *Frontiers in Psychology*, 9, 2669. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02669>
- Kucian, K., Loenneker, T., Dietrich, T., Dosch, M., Martin, E. y von Aster, M. (2006). Impaired neural networks for approximate calculation in dyscalculic children: a functional MRI study. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 31. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-31>
- Langer, N., Benjamin, C., Minas, J. y Gaab, N. (2015). The Neural Correlates of Reading Fluency Deficits in Children. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1441-1453. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht330>
- Menon, V. (2010, 9 de marzo). Developmental cognitive neuroscience of arithmetic: implications for learning and education. *ZDM-Mathematics Education*, 42, 515-525. <https://doi.org/10.1007/s11858-010-0242-0>
- Meyler, A., Keller, T. A., Cherkassky, V. L., Lee, D., Hoefl, F., Whitfield-Gabrieli, S., Gabrieli, J. D. E. y Just, M. A. (2007). Brain Activation during Sentence Comprehension among Good and Poor Readers. *Cerebral Cortex*, 17(12), 2780-2787. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm006>
- Moll, K., Kunze, S., Neuhoff, N., Bruder, J. y Schulte-Körne, G. (2014, 29 de junio). Specific Learning Disorder: Prevalence and Gender Differences. *PLOS One*, 9(7), e103537. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103537>

- Nieder, A. y Miller, E. K. (2003, 9 de enero). Coding of Cognitive Magnitude: Compressed Scaling of Numerical Information in the Primate Prefrontal Cortex. *Neuron*, 37(1), 149-157. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)01144-3](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)01144-3)
- Obrzut, J. E., Hynd, G. W. y Obrzut, A. (1983). Neuropsychological assessment of learning disabilities: A discriminant analysis. *Journal of Experimental Child Psychology*, 35(1), 46-55. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(83\)90069-3](https://doi.org/10.1016/0022-0965(83)90069-3)
- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D. y Dehaene, S. (2007, 18 de enero). A Magnitude Code Common to Numerosities and Number Symbols in Human Intraparietal Cortex. *Neuron*, 53(2), 293-305. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.11.022>
- Price, C. J. (2012, 15 de agosto). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, 62(2), 816-847. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.062>
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E. y Shaywitz, B. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 207-213. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10982498/>
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Fulbright, R. K., Constable, R. T., Skudlarski, P., Marchione, K. E., Jenner, A. R., Fletcher, J. M., Liberman, A. M., Shankweiler, D. P., Katz, L., Lacadie, C. y Gore, J. C. (2000). The Angular Gyrus in Developmental Dyslexia: Task-Specific Differences in Functional Connectivity Within Posterior Cortex. *Psychological Science*, 11(1), 51-56. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00214>
- Raskin, S. A. (2011). *Neuroplasticity and Rehabilitation*. Guilford Press.
- Reschly, D. J. (2005). Learning Disabilities Identification: Primary Intervention, Secondary Intervention, and Then What? *Journal of Learning Disabilities*, 38(6), 510-515. <https://doi.org/10.1177/00222194050380060601>
- Richards, T. L., Grabowski, T. J., Boord, P., Yagle, K., Askren, M., Mestre, Z., Robinson, P., Welker, O., Gulliford, D., Nagy, W. y Berninger, V. (2015). Contrasting brain patterns of writing-related DTI parameters, fMRI connectivity, and DTI-fMRI connectivity correlations in children with and without dysgraphia or dyslexia. *NeuroImage. Clinical*, 8, 408-421. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2015.03.018>
- Rykhlevskaia, E., Uddin, L. Q., Kondos, L. y Menon, V. (2009, 24 de noviembre). Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 51. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.051.2009>
- Sabeghi, F., Mohammadyfar, M. y Rezaei, A. (2022). Effectiveness of Neuropsychological Intervention on Reading Performance and Executive Functions in Dyslexic Children. *Iranian Evolutionary Educational Psychology Journal*, 4(1), 13-24. <https://doi.org/10.52547/ieepj.4.1.13>
- Saralegui, I., Ontañón, J. M., Fernandez-Ruanova, B., Garcia-Zapirain, B., Basterra, A. y Sanz-Arigitia, E. J. (2014, 18 de noviembre). Reading networks in children with dyslexia compared to children with ocular

- motility disturbances revealed by fMRI. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 936. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00936>
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Mencl, W. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fletcher, J. M., Lyon, G. R. y Gore, J. C. (2001). The neurobiology of dyslexia. *Clinical Neuroscience Research*, 1(4), 291-299. [https://doi.org/10.1016/S1566-2772\(01\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S1566-2772(01)00015-9)
- 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. y Gore, J. C. (2004), 1 de mayo. Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically-based intervention. *Biological Psychiatry*, 55(9), 926-933. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2003.12.019>
- Shaywitz, S. E. y Shaywitz, B. A. (2005, 1 de junio). Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry*, 57(11), 1301-1309. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.043>
- Tallal, P. y Jenkins, W. (2018). The Birth of Neuroplasticity Interventions: A Twenty Year Perspective. En T. Lachmann y T. Weis (Eds.), *Reading and Dyslexia: From Basic Functions to Higher Order Cognition* (pp. 299-322). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90805-2_14
- Theodoridou, D., Christodoulides, P., Zakopoulou, V. y Syrrou, M. (2021, 13 de junio). Developmental Dyslexia: Environment Matters. *Brain Sciences*, 11(6), 782. <https://doi.org/10.3390/brainsci11060782>
- Van der Mark, S., Klaver, P., Bucher, K., Maurer, U., Schulz, E., Brem, S., Martin, E. y Brandeis, D. (2011, 1 de febrero). The left occipitotemporal system in reading: Disruption of focal fMRI connectivity to left inferior frontal and inferior parietal language areas in children with dyslexia. *NeuroImage*, 54(3), 2426-2436. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.002>
- Van Hoorn, J. F., Maathuis, C. G. B. y Hadders-Algra, M. (2013, 18 de noviembre). Neural correlates of paediatric dysgraphia. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(s4), 65-68. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12310>
- Van Strien, J. W., Bakker, D. J., Bouma, A. y Koops, W. (1990). Familial resemblance for cognitive abilities in families with P-type dyslexic, L-type dyslexic, or normal reading boys. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12(6), 843-856. <https://doi.org/10.1080/01688639008401026>
- Wanzek, J. y Vaughn, S. (2007). Research-Based Implications From Extensive Early Reading Interventions. *School Psychology Review*, 36(4), 541-561. <https://doi.org/10.1080/02796015.2007.12087917>
- Wanzek, J., Stevens, E. A., Williams, K. J., Scammacca, N., Vaughn, S. y Sargent, K. (2018, 21 de mayo). Current Evidence on the Effects of Intensive Early Reading Interventions. *Journal of Learning Disabilities*, 51(6), 612-624. <https://doi.org/10.1177/0022219418775110>