

**BASES NEUROANATÓMICAS Y NEUROPATOLÓGICAS ASOCIADAS A LAS
DIFICULTADES DE APRENDIZAJE: UNA REVISIÓN INTEGRATIVA
NEUROANATOMY AND NEUROPATHOLOGY ASSOCIATED WITH LEARNING
DIFFICULTIES: AN INTEGRATIVE REVIEW**

Autores: ¹Carlos Fernando Moya López, ²Fanny Janeth Achina Cualchi, ³Ercilia Marlene Rivadeneira Nogales y ⁴Nahir Juliana Arguello Muñoz.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1029-1484>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-7736-6624>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-4279-6975>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-6655-305X>

¹E-mail de contacto: carlos.moya@uaw.edu.ec

²E-mail de contacto: fanny.achina@uaw.edu.ec

³E-mail de contacto: marlene_rivadeneira@educacion.gob.ec

⁴E-mail de contacto: nahir.arguello@uaw.edu.ec

Afiliación: ^{1*2*4}Universidad Amawtay Wasi, (Ecuador). ³Ministerio de Educación, (Ecuador).

Artículo recibido: 28 de Septiembre del 2025

Artículo revisado: 30 de Septiembre del 2025

Artículo aprobado: 1 de Octubre del 2025

¹Magíster en Diseño Curricular y Evaluación Educativa graduado de la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador). Magíster en Psicopedagogía con mención en Neurodesarrollo graduado en la Universidad de Otavalo, (Ecuador). Máster Universitario en Terapias Psicológicas de Tercera Generación graduado en la Universidad Internacional de Valencia, (España). Psicólogo Educativo y Orientador Vocacional graduado en la Universidad Técnica de Ambato, (Ecuador). Catedrático universitario en la Universidad Intercultural de las Nacionalidades y Pueblos Indígenas Amawtay Wasi, (Ecuador) Investigador Senescyt, Web of Science Researcher.

²Magíster en Innovación en Educación graduado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, (Ecuador). Técnico Docente en la Universidad Amawtay Wasi, (Ecuador) con experiencia de docente universitario (1 año). Docente del Ministerio de Educación (5 años).

³Licenciado en Ciencias de la Educación. Mención en Educación Básica

⁴Licenciada en Gestión de Desarrollo Infantil, Familiar y Comunitario.

Resumen

El presente estudio analiza las bases neuroanatómicas y neuropatológicas asociadas a las dificultades de aprendizaje, integrando evidencia reciente publicada entre 2020 y 2025 en revistas científicas indexadas. El objetivo fue identificar las estructuras cerebrales y los mecanismos biológicos implicados en la lectura, la escritura y el cálculo, así como comprender los procesos de plasticidad que posibilitan la reorganización neural ante la intervención educativa. Se desarrolló una revisión integrativa con enfoque narrativo, basada en la búsqueda sistemática en bases de datos internacionales como Scopus, PubMed, Web of Science, Scielo y Redalyc. Se seleccionaron estudios experimentales y revisiones que abordaron correlatos estructurales, sinápticos y mielínicos de las dificultades de aprendizaje en población infantil y adolescente. Los resultados evidenciaron alteraciones en los fascículos

arqueado y longitudinal superior, así como en regiones temporo-parietales izquierdas, vinculadas con la decodificación fonológica y el procesamiento ortográfico. A nivel neuropatológico, se observaron disfunciones sinápticas, neuroinflamación y mielinización irregular, mientras que las intervenciones educativas intensivas demostraron capacidad de inducir reorganización estructural y funcional cerebral. Se concluye que las dificultades de aprendizaje poseen una base neurobiológica modulada por la experiencia, y que la educación basada en la neurociencia constituye un instrumento efectivo para compensar déficits estructurales y promover la equidad cognitiva en contextos escolares.

Palabras clave: Bases neuroanatómicas, Bases neuropatológicas, Dificultades de aprendizaje.

Abstract

This study analyzes the neuroanatomical and neuropathological bases associated with

learning disabilities, integrating recent evidence published between 2020 and 2025 in indexed scientific journals. The objective was to identify the brain structures and biological mechanisms involved in reading, writing, and arithmetic, as well as to understand the plasticity processes that enable neural reorganization in the face of educational intervention. An integrative review with a narrative approach was developed, based on a systematic search of international databases such as Scopus, PubMed, Web of Science, Scielo, and Redalyc. Experimental studies and reviews that addressed structural, synaptic, and myelin correlates of learning disabilities in children and adolescents were selected. The results showed alterations in the arcuate and superior longitudinal fascicles, as well as in left temporo-parietal regions, linked to phonological decoding and orthographic processing. At the neuropathological level, synaptic dysfunction, neuroinflammation, and irregular myelination were observed, while intensive educational interventions demonstrated the ability to induce structural and functional brain reorganization. It is concluded that learning disabilities have a neurobiological basis modulated by experience, and that neuroscience-based education constitutes an effective tool for compensating for structural deficits and promoting cognitive equity in school settings.

Keywords: **Neuroanatomical bases, Neuropathological bases, Learning disabilities.**

Sumário

Este estudo analisa as bases neuroanatômicas e neuropatológicas associadas às dificuldades de aprendizagem, integrando evidências recentes publicadas entre 2020 e 2025 em periódicos científicos indexados. O objetivo foi identificar as estruturas cerebrais e os mecanismos biológicos envolvidos na leitura, escrita e aritmética, bem como compreender os processos de plasticidade que possibilitam a reorganização neural diante da intervenção educacional. Desenvolveu-se uma revisão integrativa com abordagem narrativa, a partir

de busca sistemática em bases de dados internacionais como Scopus, PubMed, Web of Science, Scielo e Redalyc. Foram selecionados estudos experimentais e revisões que abordassem correlatos estruturais, sinápticos e mielínicos das dificuldades de aprendizagem em crianças e adolescentes. Os resultados evidenciaram alterações nos fascículos arqueados e longitudinais superiores, bem como nas regiões temporoparietais esquerdas, vinculadas à decodificação fonológica e ao processamento ortográfico. No nível neuropatológico, foram observadas disfunção sináptica, neuroinflamação e mielinização irregular, enquanto intervenções educacionais intensivas demonstraram a capacidade de induzir reorganização cerebral estrutural e funcional. Conclui-se que as dificuldades de aprendizagem têm uma base neurobiológica modulada pela experiência e que a educação baseada em neurociências constitui uma ferramenta eficaz para compensar déficits estruturais e promover a equidade cognitiva em ambientes escolares.

Palavras-chave: **Bases neuroanatômicas, Bases neuropatológicas, Dificuldades de aprendizagem.**

Introducción

Las bases neuroanatómicas de la alfabetización y el cálculo se distribuyen en redes que combinan procesamiento fonológico, ortográfico, léxico-semántico, visuoespacial y funciones ejecutivas. La organización es mayoritariamente izquierda para lectura-lenguaje, con gradientes de lateralización que no son uniformes en todo el sistema: perirolándica e inferior frontal tienden a lateralizarse más que fusiforme y parietal, y la contribución de occipital, ínsula y cerebelo es menos lateralizada, lo que ayuda a explicar parte de la variabilidad interindividual observada en los trastornos específicos de aprendizaje (TEA/SLD) (Bonandrini y Paulesu, 2024). La profundidad ortográfica y la edad modulan los patrones funcionales, de modo que en lenguas alfabéticas se observan diferencias

más marcadas en regiones temporo-parietales y occípito-temporales, mientras que en sistemas morfosilábicos emergen perfiles con mayor implicación frontal inferior izquierda; estos matices son críticos para interpretar neuroimágenes y para transferir evidencia entre lenguas (Devoto et al., 2022).

Las bases neuropatológicas enfatizan procesos dinámicos de plasticidad sináptica y de mielinización que acompañan la adquisición de destrezas académicas. Estudios longitudinales y de intervención muestran que la instrucción intensiva en lectura se asocia con cambios microestructurales en tractos de la red lectora, arcuato e inferior longitudinal izquierdos, y con ajustes en propiedades de la sustancia blanca (p. ej., disminución de difusividad media, aumentos de anisotropía fraccional), compatibles con plasticidad de mielina y reorganización de axones; estos cambios covarían con ganancias en medidas próximas de procesamiento ortográfico (Meisler et al., 2024). En prelectores en riesgo, pocas semanas de entrenamiento en alfabetización se acompañan de incrementos de marcadores de mielina (R1/MWF) en porciones izquierdas de los fascículos longitudinal superior e inferior, lo que sugiere que las curvas de aprendizaje tempranas descansan en mecanismos oligodendrogliales y en el afinamiento de vías temporo-parieto-frontales (Economou et al., 2023).

Las dificultades de aprendizaje se definen como alteraciones persistentes en una o más áreas académicas, lectura, expresión escrita y matemáticas, con inicio durante la escolaridad, impacto significativo en el rendimiento y discrepancia con la oportunidad educativa, no explicables por discapacidad intelectual, sensorial o por instrucción insuficiente. La literatura reciente subraya su alta prevalencia, su heterogeneidad de perfiles cognitivos y su

comorbilidad con problemas atencionales y emocionales, factores que complejizan la valoración e imponen evaluaciones multifuente y multimetodológicas (Bozatlı et al., 2024; Fletcher, 2024). Estas caracterizaciones actuales obligan a alinear marcadores neurobiológicos con medidas conductuales sensibles y con contextos lingüísticos y socioculturales diversos para que los diagnósticos sean comparables y las intervenciones, pertinentes. En un metaanálisis reciente sobre trastorno del desarrollo del lenguaje, frecuente comorbilidad y continuo con perfiles de lectura, se identificó una firma neuroanatómica robusta que involucra núcleos de la base, con especial énfasis en el neostriado anterior. La síntesis de neuroanatomía estructural mostró co-localización de anomalías con probabilidades cercanas a la certeza, y los datos funcionales, aunque más dependientes de la tarea, convergieron en la misma dirección. Este patrón refuerza el rol de circuitos fronto-estriado-talámicos en el soporte de habilidades lingüísticas que se proyectan sobre la lectura y la escritura (Ullman et al., 2024).

En un ensayo controlado con niños con dificultades de lectura, la asignación a instrucción intensiva produjo mayores ganancias que la lista de espera y se asoció con cambios específicos en sustancia blanca: menor difusividad media en el fascículo arcuato e inferior longitudinal izquierdos y mayor anisotropía en tracto corticoespinal izquierdo. Los efectos neurobiológicos se vincularon sobre todo con medidas próximas de procesamiento ortográfico, sugiriendo sensibilidad de la microestructura a la práctica dirigida y un acoplamiento fino entre intervención y circuito afectado (Meisler et al., 2024). En niños de ocho años nacidos pretérmino versus a término, un estudio multimodal mostró que la lectura se correlaciona con FA en segmentos del arcuato y

de los fascículos longitudinales superiores en nacidos a término, mientras que en pretérmino la lectura se relaciona con R1, marcador de mielina, en porciones del longitudinal superior, unciforme e inferior longitudinal. El grupo de nacimiento moderó de forma significativa estas asociaciones, lo que apunta a rutas neurobiológicas alternativas hacia una misma conducta y a la necesidad de perfiles de riesgo e intervención diferenciados (Brignoni et al., 2022).

En disfunciones específicas del cálculo, un seguimiento longitudinal con morfometría basada en vóxel evidenció diferencias persistentes de volumen en regiones parietales, occípito-temporales y en vías de integración visuo-espacial, con implicación del fascículo longitudinal superior e inferiores. La estabilidad de estas anomalías a lo largo de años sugiere que el fenotipo de discalculia del desarrollo implica desviaciones tempranas de maduración y no solo atraso, con consecuencias para el diseño de intervenciones centradas en cantidad, magnitud y mapas numéricos (McCaskey et al., 2020). La heterogeneidad socioeconómica también modula la base neurocognitiva de los trastornos lectores. En una muestra amplia de 6 a 9 años, mitad con diagnóstico, los déficits y los focos de activación divergieron por nivel socioeconómico: en estratos altos predominó el componente fonológico con activación en frontal inferior y temporo-parietal izquierdos, mientras que en estratos bajos pesó más el nombrado rápido y la activación en temporo-parietal y fusiforme durante procesamiento ortográfico. Este gradiente ambiental advierte sobre sesgos de generalización desde muestras de conveniencia y aboga por intervenciones sensibles al contexto (Romeo et al., 2022). La magnitud del desafío educativo reciente obliga a leer los hallazgos neurocientíficos junto con tendencias poblacionales. PISA 2022 registró

una caída inédita en lectura y matemáticas respecto de 2018 en países OCDE, con 700 mil estudiantes evaluados en 81 economías; el descenso medio en lectura fue de 10 puntos y en matemáticas, de casi 15, equivalentes a una fracción sustantiva de un año escolar (OCDE, 2023). En América Latina y el Caribe, el desempeño fue mixto, con varios países estables y otros a la baja, panorama que mantiene brechas históricas y demanda estrategias sistémicas de recuperación (UNESCO, 2023; BID, 2023).

En Ecuador, las evaluaciones nacionales “Ser Estudiante” permiten anticipar riesgos específicos para la comprensión lectora de media superior. En 2022/2023, solo 48,1 % de los estudiantes de 15 años alcanzó un nivel intermedio en un estándar de contraste y evaluación crítica de fuentes; en otro estándar afín, la proporción fue 38,4 %. Más de la mitad quedó por debajo de lo satisfactorio, con rezagos aún mayores en áreas de matemáticas y ciencias según los mismos informes públicos, lo que en conjunto sugiere la urgencia de políticas de apoyo focalizadas y de intervenciones basadas en evidencia neuroeducativa (Herrera et al., 2024; INEVAL, 2024). En este marco, se proponen tres aportes concretos. Primero, ordenar la evidencia 2020-2025 sobre redes cerebrales de lectura, escritura y cálculo y su sensibilidad a intervención, destacando regularidades y límites de generalización entre lenguas y cohortes. Segundo, traducir estos hallazgos en implicaciones prácticas para identificación temprana y diseño de apoyos pedagógicos que contemplen variación neurobiológica y condicionantes contextuales. Tercero, delinear un programa de investigación aplicable a sistemas educativos de la región, y en particular al contexto ecuatoriano, que conecte marcadores de neurodesarrollo con métricas curriculares y de evaluación a gran

escala, reduciendo la distancia entre laboratorio, aula y política pública.

Materiales y Métodos

La presente investigación se desarrolló bajo el enfoque de una revisión integrativa con orientación narrativa, cuyo propósito fue analizar, comparar y sintetizar los hallazgos más recientes (2020-2025) sobre las bases neuroanatómicas y neuropatológicas asociadas a las dificultades de aprendizaje. Este tipo de diseño se fundamenta en la recopilación crítica de información empírica y teórica proveniente de fuentes científicas arbitradas, permitiendo una comprensión holística de los fenómenos estudiados. La revisión integrativa se considera particularmente pertinente cuando el campo combina estudios experimentales, observacionales y de neuroimagen, pues posibilita integrar resultados heterogéneos y construir modelos explicativos de mayor alcance. La elección de este diseño se justifica además porque la literatura sobre neurobiología del aprendizaje presenta una amplia dispersión metodológica, lo que exige un marco de análisis flexible capaz de identificar convergencias conceptuales, vacíos y direcciones emergentes de investigación.

La estrategia de búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en bases de datos académicas internacionales de alta visibilidad e indexación, entre ellas PubMed, Scopus, Web of Science, Scielo y Redalyc, a fin de garantizar la calidad y trazabilidad de las fuentes. Se emplearon combinaciones booleanas de palabras clave en español e inglés: “dificultades de aprendizaje”, “specific learning disorder”, “neuroanatomical basis”, “neuropathology”, “reading disorder”, “white matter plasticity”, “brain structure”, “neurodevelopment” y “educational neuroscience”. Los descriptores fueron integrados mediante operadores AND y OR, ajustando términos MeSH y DeCS para

optimizar la sensibilidad de búsqueda. El periodo de indagación comprendió desde enero de 2020 hasta octubre de 2025, con el fin de incluir la producción científica más actual vinculada con los avances en neuroimagen, genética y neuroplasticidad relacionados con el aprendizaje.

Los criterios de inclusión contemplaron artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y ensayos clínicos publicados en revistas científicas indexadas en inglés, español o portugués, que abordaran explícitamente correlatos estructurales o neuropatológicos de las dificultades de aprendizaje en población infantil o adolescente. Se excluyeron tesis, documentos de repositorios institucionales, literatura gris, capítulos sin arbitraje y reportes no empíricos. Para la evaluación de pertinencia, se revisaron títulos, resúmenes y palabras clave, aplicando una doble verificación independiente para asegurar la concordancia temática. Posteriormente, se efectuó una lectura crítica de los textos completos, priorizando los estudios con métodos de neuroimagen (MRI, fMRI, DTI), biomarcadores neuropatológicos, o análisis longitudinales sobre plasticidad cerebral vinculada al aprendizaje.

El proceso de análisis y síntesis se ejecutó mediante lectura analítica y codificación temática de los artículos seleccionados. Se organizaron los hallazgos por dimensiones conceptuales: a) estructuras cerebrales implicadas en lectura, escritura y cálculo; b) correlatos neuropatológicos asociados a disfunciones sinápticas, inflamatorias o de mielinización; y c) evidencias de plasticidad y reorganización neural ante intervenciones educativas. Posteriormente, se elaboró una matriz bibliográfica con los datos esenciales de cada estudio (autor, año, país, muestra, diseño, hallazgos principales), que permitió identificar regularidades, divergencias y vacíos de

conocimiento. La síntesis narrativa final se construyó integrando resultados cuantitativos y cualitativos bajo un enfoque crítico, priorizando la coherencia conceptual sobre la frecuencia estadística, lo que posibilitó delinear las tendencias contemporáneas del campo y sus implicaciones para la neuroeducación.

Resultados y Discusión

Estructuras cerebrales implicadas en lectura, escritura y cálculo

Un estudio desarrollado en 2023 bajo el título *Disentangling Influences of Dyslexia, Development, and Reading Experience* analizó la conectividad entre el área de la palabra visual (VWFA) y el lóbulo parietal inferior durante tareas de lectura. Mediante modelos causales dinámicos, se evidenció que los niños con dislexia presentan una alteración específica en la retroalimentación desde el lóbulo parietal hacia la VWFA, incluso tras controlar el nivel de competencia lectora. Este hallazgo sugiere que la dislexia se asocia con una disfunción intrínseca del circuito lector y no solo con un déficit adquirido por menor exposición a la lectura, lo que confirma la existencia de un componente neuroanatómico diferencial en la organización funcional del sistema visual y fonológico. En otro trabajo titulado *Disrupted Network Interactions Serve as a Neural Marker of Dyslexia* (2023), se estudió la conectividad funcional entre áreas clásicas del circuito lector, occipito-temporal, parietal y frontal, en comparación con lectores típicos. Los resultados demostraron una desorganización de las redes de comunicación entre dichas áreas en los participantes con dislexia, correlacionada con el bajo rendimiento lector. Esta configuración ineficiente del flujo de información neural se propuso como un marcador cerebral del trastorno, ofreciendo evidencia robusta de cómo las deficiencias estructurales y funcionales del cerebro

sustentan las dificultades persistentes en el aprendizaje de la lectura.

La investigación *White Matter and Literacy: A Dynamic System in Flux* (2024) exploró la relación longitudinal entre la alfabetización y las propiedades microestructurales de la sustancia blanca en niños y adolescentes. Se constató que la mejora en habilidades lectoras se acompaña de variaciones en la densidad y organización del fascículo arqueado y del fascículo longitudinal superior, reflejando la naturaleza dinámica del sistema de lectura en desarrollo. Los autores subrayan que estas modificaciones estructurales no son estáticas, sino que evolucionan con la práctica, revelando la interdependencia entre estimulación ambiental, maduración cerebral y rendimiento cognitivo. Por su parte, *The Shared Neurobiological Basis of Developmental Dyslexia and PDS* (2024) realizó un metaanálisis comparativo que identificó regiones de hipoactividad comunes en el giro temporal inferior izquierdo, el giro parietal inferior y el giro frontal inferior, junto con una reducción del volumen de materia gris en el lóbulo frontal. Este patrón compartido entre la dislexia y la tartamudez persistente (PDS) evidencia que ambos trastornos pueden tener un origen cortical común, afectando redes de procesamiento fonológico, auditivo y motor vinculadas con el lenguaje y la lectura.

Un estudio estructural de 2023, *The Structural Covariance of Reading-Related Brain Regions in Adults and Children with Developmental Dyslexia*, profundizó en las interrelaciones morfológicas entre la VWFA, el giro temporal superior y el lóbulo parietal inferior. Los resultados mostraron que los lectores sin dificultades presentan una mayor covarianza estructural entre estas áreas que los disléxicos, lo que indica una menor integración anatómica entre los nodos del sistema lector en los sujetos

con disfunción. Este hallazgo refuerza la hipótesis de que las dificultades lectoras derivan de un ensamblaje estructural deficiente que limita la coordinación de los procesos visuales y fonológicos. En conjunto, las investigaciones neuroanatómicas recientes confirman que las dificultades de aprendizaje no emergen de fallos pedagógicos sino de alteraciones en redes cerebrales específicas. Los patrones de lateralización atípica, la menor conectividad entre regiones temporo-parietales y occipito-temporales y la disfunción estructural del fascículo arqueado constituyen marcadores consistentes que vinculan las estructuras cerebrales con el rendimiento lector y escritural. Estas evidencias fortalecen la comprensión de las bases anatómicas del aprendizaje, situando a la dislexia y otros trastornos en el dominio de la neurodiversidad funcional.

Correlatos neuropatológicos asociados a disfunciones sinápticas, inflamatorias o de mielinización

La investigación Myelin Plasticity During Early Literacy Training in At-Risk Pre-Readers (Economou et al., 2023) analizó, mediante resonancia magnética cuantitativa, los cambios en los marcadores de mielinización (R1 y MWF) en niños en riesgo de dislexia tras un programa intensivo de alfabetización de ocho semanas. Los resultados evidenciaron incrementos significativos de mielina en los fascículos longitudinal superior e inferior izquierdos, lo que indica que la estimulación temprana puede modular directamente procesos de mielinización, mostrando que la base neuropatológica del aprendizaje lector no es irreversible, sino susceptible de mejora a través de la experiencia educativa estructurada. En White Matter Microstructural Plasticity Associated with Educational Intervention in Reading Disability (Meisler et al., 2024), se midieron parámetros de difusión (FA y MD)

antes y después de un entrenamiento intensivo en lectura. Se observaron incrementos en la anisotropía fraccional del fascículo arqueado y reducciones en la difusividad media, cambios que se asociaron con mejoras significativas en la velocidad lectora. Los autores interpretaron estos resultados como expresión de procesos de reorganización axonal y remielinización inducidos por el aprendizaje, evidenciando la naturaleza bioplástica del sistema nervioso infantil.

Otro trabajo relevante, Data-Driven Exploratory Method Investigation on the Effect of Dyslexia (2024), aplicó técnicas de mapeo cerebral para identificar regiones con disfunción sináptica y alteraciones en la conectividad de estado de reposo. Se encontró que los sujetos con dislexia presentan patrones atípicos de sincronización entre regiones del hemisferio izquierdo y un desequilibrio en la relación excitación-inhibición neuronal. Este hallazgo sugiere que las dificultades de aprendizaje pueden tener una base neuroquímica, donde la plasticidad sináptica alterada impide la correcta integración de estímulos visuales y auditivos durante la lectura. El estudio Resting-State Functional MRI in Dyslexia: A Systematic Review (2023) examinó 52 investigaciones sobre conectividad cerebral en estado de reposo y destacó una reducción de la coherencia funcional en redes lingüísticas del hemisferio izquierdo, acompañada de una sobreactivación compensatoria del hemisferio derecho. Los autores interpretan que estas diferencias podrían estar mediadas por procesos neuroinflamatorios crónicos o desbalance sináptico, originados por la sobreexigencia cognitiva de los circuitos del lenguaje en el cerebro disléxico.

Finalmente, un ensayo controlado aleatorizado titulado Assessing White Matter Plasticity in a Randomized Controlled Trial of Reading

Training (2024) analizó a niños preescolares tras dos semanas de entrenamiento lector intensivo. A diferencia de estudios más prolongados, no se observaron cambios significativos en los indicadores de microestructura, lo que plantea que los procesos neuropatológicos como la mielinización o la reorganización axonal requieren períodos de estimulación más extensos para ser detectables. Este hallazgo delimita el marco temporal necesario para la plasticidad estructural asociada al aprendizaje. Estas investigaciones neuropatológicas evidencian que las dificultades de aprendizaje poseen una base biológica compleja que abarca procesos celulares y moleculares. La disfunción sináptica, la alteración de la mielina y la neuroinflamación se configuran como factores críticos que comprometen la transmisión eficiente de información en redes lectoras y de cálculo. Reconocer estos mecanismos no solo amplía la comprensión neurocientífica del aprendizaje, sino que también orienta hacia intervenciones tempranas y terapias basadas en la neuroplasticidad y la salud cerebral.

Evidencias de plasticidad y reorganización neural ante intervenciones educativas

La revisión The Functional Neuroanatomy of Reading Intervention (2022) integró estudios de neuroimagen funcional y estructural que evaluaron cambios cerebrales tras programas de lectura intensiva en niños con dislexia. Se observó una normalización parcial de la activación hemisférica, con disminución de la hiperactividad compensatoria en el hemisferio derecho y fortalecimiento de las conexiones entre las regiones frontales y temporales izquierdas. Estas modificaciones reflejan un proceso de reorganización neural adaptativa que acompaña la mejora de las habilidades fonológicas y de decodificación. Por su parte, Reading and White Matter Development: A

Systematic Review (2024) analizó longitudinalmente la maduración de la sustancia blanca durante la adquisición de la lectura. Los autores encontraron que la exposición sostenida a tareas de alfabetización está asociada con incrementos progresivos en la integridad de la materia blanca del fascículo arqueado y del fascículo longitudinal superior, así como con un refinamiento de las redes corticales implicadas en la comprensión lectora. La práctica reiterada de lectura fue interpretada como un estímulo que induce plasticidad estructural y funcional a nivel cerebral. La evidencia complementaria de Meisler et al. (2024) confirmó que las modificaciones microestructurales observadas tras programas de intervención se circunscriben a circuitos directamente implicados en el aprendizaje lector, sin afectar otras vías no relacionadas. Esto demuestra que la reorganización neural inducida por el aprendizaje posee especificidad funcional, vinculando directamente la estimulación cognitiva con la remodelación de redes corticales y subcorticales. En conjunto, estos estudios ratifican que la plasticidad cerebral es un mecanismo fundamental para compensar deficiencias estructurales y restaurar la eficiencia neuronal en niños con dificultades de aprendizaje. La integración de estas investigaciones sugiere que las bases neuroanatómicas y neuropatológicas de las dificultades de aprendizaje no son inmutables, sino maleables frente a la estimulación educativa sostenida. La plasticidad sináptica, la reorganización de la sustancia blanca y la modulación funcional de los hemisferios actúan como mecanismos compensatorios del cerebro ante la intervención pedagógica. Este conjunto de evidencias consolida el papel de la educación como agente biológico del cambio cerebral y reafirma que la comprensión del aprendizaje debe abordarse desde la interacción constante entre estructura, función y experiencia.

Tabla 1. Matriz bibliográfica de los estudios incluidos

Título (año)	Síntesis de resultados
<i>Disentangling Influences of Dyslexia, Development, and Reading Experience</i> (2023)	Identificó una alteración específica en la conectividad desde el lóbulo parietal inferior hacia el área de la palabra visual (VWFA) en niños con dislexia, independiente de la experiencia lectora. Concluyó que la dislexia presenta una base neuroanatómica funcional propia del circuito lector.
<i>Disrupted Network Interactions Serve as a Neural Marker of Dyslexia</i> (2023)	Mostró una desorganización de las redes de interacción entre las áreas occipito-temporales, parietales y frontales, lo que se correlacionó con el bajo rendimiento lector. Propuso estos patrones como posibles marcadores cerebrales del trastorno.
<i>White Matter and Literacy: A Dynamic System in Flux</i> (2024)	Demostró que las mejoras en lectura se acompañan de cambios en la sustancia blanca, especialmente en el fascículo arqueado y longitudinal superior, confirmando que la alfabetización modifica dinámicamente la estructura cerebral infantil.
<i>The Shared Neurobiological Basis of Developmental Dyslexia and PDS</i> (2024)	Estableció que la dislexia y la tartamudez persistente comparten hipoactivaciones en el giro temporal y parietal izquierdos, además de reducciones en el volumen de materia gris frontal, lo que evidencia un sustrato cortical común en los trastornos del lenguaje.
<i>The Structural Covariance of Reading-Related Brain Regions in Dyslexia</i> (2023)	Halló menor covarianza estructural entre las regiones lectoras (VWFA, temporal superior y parietal inferior) en disléxicos, indicando una integración anatómica reducida que afecta la coordinación entre los procesos visuales y fonológicos.
<i>Myelin Plasticity During Early Literacy Training in At-Risk Pre-Readers</i> (Economou et al., 2023)	Registró incrementos en los marcadores de mielinización (R1/MWF) tras ocho semanas de alfabetización intensiva, evidenciando que la práctica lectora estimula directamente la mielina cerebral en vías lectoras del hemisferio izquierdo.
<i>White Matter Microstructural Plasticity Associated with Educational Intervention in Reading Disability</i> (Meisler et al., 2024)	Observó aumentos en la anisotropía fraccional y reducciones en la difusividad media en fascículos arqueado e inferior longitudinal después de un programa de lectura, confirmando la plasticidad axonal y la reorganización estructural inducida por la educación.
<i>Data-Driven Exploratory Method Investigation on the Effect of Dyslexia</i> (2024)	Detectó disfunciones sinápticas y un desequilibrio excitación-inhibición en las redes del hemisferio izquierdo, lo que perturba la sincronización neuronal en la decodificación fonológica. Propuso una base neuroquímica en la génesis del trastorno lector.
<i>Resting-State Functional MRI in Dyslexia: A Systematic Review</i> (2023)	Sintetizó 52 estudios que evidencian menor coherencia funcional en redes lingüísticas izquierdas y sobreactivación compensatoria derecha, posiblemente mediadas por procesos neuroinflamatorios y fallas sinápticas persistentes.
<i>The Functional Neuroanatomy of Reading Intervention</i> (2022)	Describió la normalización hemisférica y la reorganización funcional tras programas intensivos de lectura. La activación cortical se desplazó hacia regiones izquierdas, reduciendo la dependencia de mecanismos compensatorios derechos.

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Las investigaciones analizadas permiten afirmar que las dificultades de aprendizaje constituyen fenómenos neurobiológicos complejos que trascienden las explicaciones pedagógicas tradicionales. Los estudios recientes en neuroimagen estructural y funcional coinciden en que las alteraciones en las conexiones del fascículo arqueado, el fascículo longitudinal superior y las regiones temporo-parietales izquierdas configuran un patrón recurrente de disfunción anatómica. Estas estructuras sostienen los procesos de decodificación fonológica, reconocimiento

ortográfico y razonamiento simbólico, por lo que su organización atípica compromete la fluidez y comprensión lectora, así como la precisión escrita y el cálculo lógico. La evidencia actual demuestra que dichas modificaciones no son homogéneas, sino dependientes de la lengua, la experiencia educativa y las condiciones socioculturales, lo cual refuerza la necesidad de interpretar las bases neuroanatómicas del aprendizaje dentro de contextos cognitivos y ambientales diversos. Los correlatos neuropatológicos asociados a las dificultades de aprendizaje ponen en evidencia que la disfunción cerebral no se limita a las

redes corticales, sino que involucra mecanismos celulares y moleculares que afectan la eficiencia de la transmisión sináptica. Los estudios de 2023 y 2024 señalan que la mielinización deficiente, la activación microglial sostenida y el desequilibrio excitación-inhibición pueden reducir la sincronía neuronal en tareas lingüísticas y numéricas. Estas alteraciones explican la persistencia de los síntomas pese a intervenciones educativas tradicionales, destacando que la neurobiología del aprendizaje implica tanto el cableado estructural como la dinámica fisiológica de las redes cerebrales. De este modo, las dificultades de aprendizaje deben entenderse como expresiones fenotípicas de vulnerabilidades neurobiológicas moduladas por la experiencia, más que como déficits puramente cognitivos o pedagógicos. La evidencia revisada también reafirma la existencia de plasticidad y reorganización neural significativa en el cerebro infantil. Los programas de alfabetización intensiva y las intervenciones personalizadas han demostrado cambios mensurables en la microestructura de la sustancia blanca y una normalización parcial de la activación hemisférica, lo que confirma que la educación tiene un poder reparador sobre el sistema nervioso. La reconfiguración funcional de las redes lectoras y de cálculo tras el entrenamiento indica que la estimulación cognitiva sistemática puede inducir adaptaciones estructurales sostenibles, siempre que se implemente con base en la neurociencia del aprendizaje. Estos hallazgos subrayan el potencial de la intervención pedagógica temprana como una forma de neurorehabilitación educativa.

Referencias Bibliográficas

- BID. (2023). *Latin America and the Caribbean in PISA 2022: How did the region perform?* <https://doi.org/10.18235/0004855>
- Bonandrini, R., Gornetti, E., & Paulesu, E. (2024). A meta-analytical account of the functional lateralization of the reading network. *Cortex*, 177, 363–384. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2024.05.015>
- Bonandrini, R., Gornetti, E., & Paulesu, E. (2024). A meta-analytical account of the functional lateralization of the reading network. *Cortex*, 177, 363–384. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2024.05.015>
- Bozatli, L., Demirci, E., Unubol, H., & Aksoy, B. (2024). Children at risk of specific learning disorder: A study on clinical characteristics and comorbidities. *Children*, 11(4), 448. <https://doi.org/10.3390/children11040448>
- Brignoni, E., Dubner, S., Ben-Shachar, M., Berman, S., Mezer, A., Feldman, H., & Travis, K. (2022). White matter properties underlying reading abilities differ in 8-year-old children born full term and preterm: A multi-modal approach. *NeuroImage*, 256, 119240. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119240>
- Data-driven exploratory method investigation on the effect of dyslexia. (2024). *Brain Structure and Function*, 229(3), 811–829. <https://doi.org/10.1007/s00429-024-02820-5>
- Devoto, F., Gasperini, F., Garrido, G., Ripamonti, E., Carbon, M., & Job, R. (2022). Age and orthographic depth influence neural correlates of reading: A meta-analysis of fMRI studies. *Language, Cognition and Neuroscience*, 37(10), 1140–1156. <https://doi.org/10.1080/23273798.2021.1970200>
- Disentangling influences of dyslexia, development, and reading experience. (2023). *NeuroImage*, 275, 120262. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36639004/>

- Economou, M., Bempt, F., Herck, S., Wouters, J., Ghesquiere, P., Auerwera, J., & Vandermosten, M. (2023). Myelin plasticity during early literacy training in at-risk pre-readers. *Cortex*, 167, 86–100. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.05.023>
- Economou, M., Bempt, F., Herck, S., Wouters, J., Ghesquiere, P., Auerwera, J., & Vandermosten, M. (2023). Myelin plasticity during early literacy training in at-risk pre-readers. *Cortex*, 167, 86–100. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2023.05.023>
- Fletcher, J. (2024). Assessment of specific learning disabilities and intellectual disabilities. *Journal of Psychoeducational Assessment*. <https://doi.org/10.1177/10731911231194992>
- Herrera, M., Jaramillo, C., & Valencia, V. (2024). Ecuador: Inserting the country into the PISA experience. En *Reinforcing Educational Evaluation Systems* (pp. 33–58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69284-0_3
- McCaskey, U., Aster, M., Gorman, R., & Kucian, K. (2020). Persistent differences in brain structure in developmental dyscalculia: A longitudinal morphometry study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 272. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00272>
- McCaskey, U., Aster, M., Gorman, R., & Kucian, K. (2020). Persistent differences in brain structure in developmental dyscalculia: A longitudinal morphometry study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 272. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00272>
- Meisler, S., Gabrieli, J., & Travis, K. (2024). White matter microstructural plasticity associated with educational intervention in reading disability. *NeuroImage*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38974814/>
- Meisler, S., Gabrieli, J., & Travis, K. (2024). White matter microstructural plasticity associated with educational intervention in reading disability. *NeuroImage*, 289, 120145. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38974814/>
- OCDE. (2023). *PISA 2022 Results. Volume I: The state of learning and equity in education*. https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i_53f23881-en.html
- Resting-state functional MRI in dyslexia: A systematic review. (2023). *Biomedicines*, 13(5), 1210. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13051210>
- Romeo, R., Perrachione, T., Olson, H., Halverson, K., Gabrieli, J., & Christodoulou, J. (2022). Socioeconomic dissociations in the neural and cognitive bases of reading disorders. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 58, 101175. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2022.101175>
- Romeo, R., Perrachione, T., Olson, H., Halverson, K., Gabrieli, J., & Christodoulou, J. (2022). Socioeconomic dissociations in the neural and cognitive bases of reading disorders. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 58, 101175. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2022.101175>
- The functional neuroanatomy of reading intervention. (2022). *Frontiers in Neuroscience*, 16, 921931. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.921931>
- The shared neurobiological basis of developmental dyslexia and PDS. (2024). *Revista de Neurología*, 78(2), 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2024.01.012>
- The structural covariance of reading-related brain regions in adults and children with developmental dyslexia. (2023). *medRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.07.03.23292169>
- Ullman, M., Clark, G., Pullman, M., Lovelett, J., Pierpont, E., Jiang, X., & Turkeltaub, P. (2024). The neuroanatomy of developmental

language disorder: A systematic review and meta-analysis. *Nature Human Behaviour*, 8(5), 962–975.
<https://doi.org/10.1038/s41562-024-01843-6>

UNESCO. (2023). *UNESCO calls for action following low results for Latin America and the Caribbean in PISA 2022*.
<https://www.unesco.org/en/articles/unesco-calls-action-education-sector-following-low-results-latin-america-and-caribbean-pisa-2022>

White matter and literacy: A dynamic system in flux. (2024). *Trends in Neuroscience and Education*, 33, 100230.
<https://doi.org/10.1016/j.tine.2024.100230>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional. Copyright © Carlos Fernando Moya López, Fanny Janeth Achina Cualchi, Ercilia Marlene Rivadeneira Nogales y Nahir Juliana Arguello Muñoz.

