

Hacia la configuración del uso de la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas

Jaimés-Duque Sebastian*

*Ingeniero de alimentos, Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte, Cali,
Colombia

<https://orcid.org/0000-0003-1786-1811>

Becerra-Granados Luis Miguel**

**Nutricionista clínico pediátrico, Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia.

<https://orcid.org/0000-0003-1992-2323>

Correspondencia: sebastian.jaimés@endeporte.edu.co

Resumen

Este artículo presenta un estudio sobre la utilización de la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas, haciendo hincapié en la necesidad de abordar los obstáculos emocionales y mejorar las prácticas educativas en matemáticas, particularmente en los países de América Latina, como Colombia, que enfrentan desafíos notables en este campo. La investigación se basa en un análisis exhaustivo de documentos científicos, y emplea un enfoque interdisciplinario para identificar los mecanismos neuronales implicados en el procesamiento matemático y aplicar estrategias educativas eficaces. La metodología de investigación es cualitativa de tipo exploratorio que abarca una revisión sistemática de la literatura, encontrándose una aproximación a la configuración del uso de la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas, donde se encuentran resultados relacionados con modelos, estrategias, prácticas de enseñanza y pensamiento matemático. La inclusión de métodos, estrategias y prácticas basadas en neuroeducación en el proceso educativo contribuye a enriquecer la experiencia de aprendizaje y a potenciar la conexión entre las habilidades matemáticas y las dimensiones emocionales y creativas de los estudiantes, se resalta la importancia de adaptar estrategias educativas para satisfacer las necesidades individuales de los estudiantes, la relevancia de la conexión emocional en el aprendizaje matemático, el enfoque multisensorial, la metacognición y la diversificación de estrategias educativas. Finalmente se analiza cómo la neurociencia puede mejorar la práctica pedagógica y abordar

desafíos como el estrés, la ansiedad matemática y las dificultades de aprendizaje. Estas prácticas educativas basadas en principios neurocientíficos sirven de referencia para los profesores de matemáticas en diversos contextos educativos.

Palabras clave: Neuroeducación, neurociencia, educación, enseñanza, aprendizaje y matemáticas.

Abstract

This article presents a study about the use of neuroscience in mathematics education, emphasizing the need to study emotional obstacles and improve educational practices in mathematics, particularly in Latin American countries, such as Colombia, which face notable challenges in this field. The research is based on a comprehensive analysis of scientific papers, and employs an interdisciplinary approach to identify the neural mechanisms involved in mathematical processing and implement effective educational strategies. The research methodology is qualitative of an exploratory type that include a systematic review of the literature, finding an approach to the configuration of the use of neuroscience in the teaching of mathematics, where results related to models, strategies, teaching practices and mathematical thinking are found. The inclusion of methods, strategies and practices based on neuroeducation in the educational process contributes to enrich the learning experience and to enhance the connection between mathematical skills and the emotional and creative dimensions of students. The importance of adapting educational strategies to meet the individual needs of students, the relevance of the emotional connection in mathematical learning, the multisensory approach, metacognition and the diversification of educational strategies are highlighted. Finally, it discusses how neuroscience can improve pedagogical practice and embrace challenges such as stress, math anxiety and learning difficulties. These educational practices based on neuroscientific principles serve as a reference for mathematics teachers in various educational contexts.

Key words: *neuroeducation, neuroscience, education, teaching, learning and math.*

Introducción

El campo de la neuroeducación ha crecido rápidamente gracias a la convergencia de la neurociencia y la educación (Bhargava y Ramadas, 2022). La neuroeducación se centra en comprender los procesos neuronales que subyacen al aprendizaje y aplicarlos en entornos educativos (Jolles y Jolles, 2021). En este contexto, la educación matemática, una disciplina fundamental, pero a menudo compleja para muchos estudiantes, ha recibido especial atención debido a su complejidad cognitiva y relevancia para el currículo (Wilcox et al., 2021).

La neuroeducación ofrece un enfoque innovador al combinar hallazgos neurocientíficos y prácticas de enseñanza para brindar una nueva perspectiva sobre la optimización de la adquisición de habilidades matemáticas (Bhargava y Ramadas, 2022; Gkintoni et al., 2023). Este enfoque, que es interdisciplinario, tiene como objetivo identificar los mecanismos neuronales involucrados en el procesamiento matemático y la aplicación de estrategias de enseñanza que estimulen estos procesos (Bhargava y Ramadas, 2022; Grospietsch y Lins, 2021; Wilcox et al., 2021). En este artículo, se exploran las características del uso de la neuroeducación en la concepción y puesta en práctica de métodos de enseñanza para mejorar la comprensión y el desempeño en matemáticas. Se indaga cómo los principios neurocientíficos, particularmente aquellos relacionados con la plasticidad cerebral, la atención, la memoria y el procesamiento numérico, pueden contribuir a mejorar la práctica pedagógica.

En el contexto de la educación matemática, es importante abordar las posibles barreras emocionales que afectan los procesos cognitivos como la ansiedad matemática, el estrés y los problemas de atención (Amran y Bakar, 2020; Guillermo, Carlos, et al., 2022; Uden et al., 2023; Whiting et al., 2021; Yu, 2023). Al integrar enfoques neuroeducativos, se busca abordar estos desafíos implementando estrategias personalizadas que promuevan un aprendizaje más efectivo y significativo (Chang et al., 2021). La relevancia de la optimización de las prácticas educativas en el entorno latinoamericano es debida a los retos impuestos por las organizaciones, como la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), donde se hacen visibles las amplias brechas de conocimiento y desempeño de los alumnos de todos los niveles de educación, en ciencias básicas como la

física, la química, pero especialmente en las matemáticas (Echazarra y Schwabe, 2019; Vasquez-Anaya et al., 2021).

La prueba de evaluación internacional de estudiantes, también conocida por sus siglas en inglés PISA, es un mecanismo de estimación de las competencias en diferentes áreas de conocimiento entre las cuales se destacan las matemáticas como ciencias básicas. En Centroamérica y Suramérica algunos países asociados a la OCDE han impresionado por sus amplios avances en las competencias básicas. Chile aumentó de manera importante sus resultados en matemáticas alcanzando un 35% de estudiantes con un adecuado rendimiento. México obtuvo, en las últimas pruebas (2022), un 21% de adecuación, encontrándose muy por debajo del promedio europeo. Uruguay es uno de los países suramericanos con mejores desempeños en la prueba, obteniendo un 45% de éxito, porcentaje de adecuación más cercano a los valores promedio europeos (Gual, 2018; OECD, 2023a, 2023b).

Sumado a lo anterior, Colombia ha presentado importantes dificultades en la enseñanza de las matemáticas durante los últimos 20 años; se ha caracterizado por encontrarse entre los países con resultados más desfavorables en pruebas de desempeño, comparado con países de Latinoamérica. Según el informe del Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA) de la OCDE, publicado en 2023, Colombia se ubicó por debajo del promedio de los países participantes en cuanto a resultados en matemáticas, mostrando una tendencia estacionaria en comparación con evaluaciones anteriores (Gual, 2018; OECD, 2023a, 2023b; Vasquez-Anaya et al., 2021). Además, según el Departamento Nacional de Planeación DPN (2020), ponen en evidencia una brecha persistente en el rendimiento académico entre las áreas urbanas y rurales del país, con impactos significativos en el desempeño matemático de los estudiantes. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar políticas educativas integrales y medidas específicas para mejorar la calidad de la enseñanza de las matemáticas en Colombia.

Por consiguiente, esta organización (OCDE) ha centrado su interés en Colombia debido a sus bajos resultados y las diferencias didácticas en el proceso de enseñanza, los cuales han sido catalogados como uno de los aspectos más importantes a trabajar por parte de la nación. Para

el año 2022, en la evaluación PISA, los estudiantes de Colombia estuvieron por debajo de la media de los países de la OCDE en lectura, ciencias y matemáticas, particularmente matemáticas fue la asignatura de menor rendimiento (Gual, 2018; OECD, 2023a, 2023b; Vasquez-Anaya et al., 2021).

Actualmente, se han implementado modificaciones en las metodologías que han sido testeadas en diferentes investigaciones, las cuales han identificado qué cambios en el paradigma de la enseñanza y el aprendizaje pueden conducir al aumento del grado de satisfacción hacia la ciencia y, por ende, un incremento en la efectividad del proceso educativo (Cui y Zhang, 2021; Ng, 2018).

En esa búsqueda de estrategias, modelos y prácticas de enseñanza desde la neuroeducación se centra este artículo, donde se analizan las publicaciones científicas que relacionan las características del uso de la neurociencia en los procesos de enseñanza de las matemáticas, con el fin de que esta información sea aprovechada por parte de los docentes de matemáticas.

Específicamente, los insumos obtenidos en esta investigación documental son relevantes, en tanto posibilitan la configuración de patrones o modelos de enseñanza de las matemáticas a través de la neuroeducación. Esto servirá como guía para los docentes de esta disciplina de estudio en diferentes ámbitos educativos, lo cual responde a la pregunta ¿Cómo configurar la enseñanza de las matemáticas, desde el paradigma de la neuroeducación?

Metodología

Esta investigación es de carácter cualitativo, con método de análisis documental, basado en investigaciones publicadas en bases de datos como PubMed, Google Scholar, Dialnet y PsycINFO así como plataformas de información como Science Direct, cuyos temas son concernientes a la neuroeducación y la enseñanza de las matemáticas en diferentes escenarios educativos.

Por consiguiente, se realizó una revisión sistemática de la literatura, mediante la exploración, compilación, análisis e interpretación de los resultados de publicaciones científicas en las que se presentan las características del uso de la neurociencia en los procesos de enseñanza de las

matemáticas. La investigación se llevó a cabo en 3 etapas; en principio, se realizó un protocolo de búsqueda y selección de información, seguido de la revisión del material bibliográfico y finalmente, la definición de las categorías de análisis (Jiménez et al., 2020; Zhai et al., 2021).

Protocolo de búsqueda y selección de información

Se utilizó el motor de búsqueda Google Scholar como principal fuente de localización de la información, también bases de datos como PubMed, Dialnet y PsycINFO, además de plataformas de investigación como Science Direct. Se seleccionaron los documentos para la revisión teniendo en cuenta los siguientes criterios, publicaciones en inglés y español, en la ventana de publicación del 2003 al 2024, de revistas indexadas en el *SCImago Journal Rank* (SJR); los documentos publicados en revistas que están indexadas en el SJR son considerados información confiable por la comunidad científica, algunos artículos que no se encontraban indexados se incluyeron por su valiosa información y pertinencia para esta investigación. Las palabras clave que se utilizaron para las búsquedas fueron, *neuroeducation, neuroscience, education, teaching, learning and math*. A continuación, en la Tabla 1, se detalla el protocolo de búsqueda y selección de información.

Tabla 1

Motores de búsqueda usados, documentos consultados y seleccionados.

Motor de búsqueda	Palabras clave o frases clave con operadores booleanos	Número de documentos iniciales	Número de documentos filtrados	Número de documentos finales
Google Scholar	<i>Neuroscience, neuroeducation,</i>	2820	221	13
Pubmed	<i>teaching, learning and math</i>	9,228	1140	3
Dialnet		326	86	4
PsycINFO	<i>teaching learning math neuroeducation OR "neuroscience education"</i>	0	0	0
Total				20

Nota. Elaboración propia.

Revisión del material bibliográfico

Una vez se seleccionaron los documentos que cumplían con los criterios establecidos en el apartado anterior, se realizó la lectura, extrayendo de ellos información para diligenciar la ficha de recolección de información con los siguientes ítems, naturaleza, año de publicación, país, revista, categorización, título, referencia bibliográfica en formato APA, resumen traducido, observaciones, enlace web y subcategorías de análisis (individualización del aprendizaje, conexión emocional, enfoque multisensorial, metacognición, interdisciplinariedad y diversificación de estrategias y recursos de aprendizaje) (Anexo 1). Estas subcategorías responden a las categorías de análisis modelos, estrategias o prácticas de neurociencia en la educación. En el apartado de observaciones se escribieron detalles en los que se relacionaban las características del uso de la neurociencia en los procesos de enseñanza de las matemáticas en distintos niveles educativos, resultados de aplicar modelos, estrategias o prácticas de enseñanza basados en neurociencia y los principales retos a los cuales se enfrentaban los investigadores al momento de aplicarlos y en las subcategorías se agregó la información relevante a esa subcategoría que se afirmaba, refutaba o debatía en el documento correspondiente.

Definición de las categorías de análisis

Las categorías usadas para el procesamiento de la información, halladas en las revisiones en motores de búsqueda, están enfocadas en las principales líneas de trabajo, expuestas por diferentes autores que han centrado su trabajo en la exploración de modelos, estrategias o prácticas de neurociencia en la educación (Chandrasekaran, 2017; Guillermo, Carlos, et al., 2022; Guillermo, Romero, et al., 2022; Jamil et al., 2021; Moreno Muro et al., 2021; Srikoon, 2021; Suárez-Pellicioni et al., 2021).

Las categorías implementadas para el análisis de la información fueron: Modelos, estrategias y prácticas de enseñanza; de estas surgieron las siguientes subcategorías:

Individualización del Aprendizaje.

Reconociendo la diversidad cognitiva de los estudiantes, se busca adaptar las estrategias de enseñanza para responder a las necesidades individuales de cada estudiante (Antonopoulou et al., 2023). Esto se logra mediante la evaluación continua y la personalización de las estrategias de enseñanza (Amran y Bakar, 2020; Yu, 2023).

Conexión Emocional.

La neuroeducación resalta la relevancia de las emociones en el proceso de adquisición de conocimientos. La creación de un ambiente afectivo positivo promueve la liberación de neurotransmisores relacionados con la motivación y el bienestar, contribuyendo de esta manera a la atención, retención y procesamiento de la información (Amran y Bakar, 2020; Antonopoulou et al., 2023; Bhargava y Ramadas, 2022; Guillermo, Romero, et al., 2022).

Enfoque Multisensorial.

Debido a que el cerebro humano procesa la información de manera multisensorial, se fomenta el uso de recursos didácticos que estimulen diversos sentidos tales como la visión, la audición y el tacto (Chandrasekaran, 2017; Ribeiro y Santos, 2020). Esto contribuye a fortalecer las conexiones neuronales y mejorar la consolidación del conocimiento (Amran y Bakar, 2020; Srikoon, 2021; Yu, 2023).

Metacognición.

Se fomenta el crecimiento de habilidades metacognitivas, como el control propio y la reflexión sobre el proceso de aprendizaje personal (Fleur et al., 2021). Esto permite que los estudiantes adquieran mayor conciencia de sus estrategias cognitivas y mejoren su capacidad para planificar, monitorear y evaluar su propio aprendizaje (Bellon et al., 2020; Yu, 2023).

Interdisciplinariedad.

Se analizan cómo los conceptos neurocientíficos y el funcionamiento del cerebro durante la adquisición de habilidades matemáticas, a través de la memoria, la atención y la motivación pueden orientar las prácticas didácticas en el aula, para así optimizar los resultados de aprendizaje de los estudiantes (Antonopoulou et al., 2023; Grospietsch y Lins, 2021).

Diversificación de estrategias y recursos.

En el contexto de la enseñanza de las matemáticas, se hace hincapié en la implementación de una amplia gama de métodos y herramientas diseñadas para mejorar el proceso de aprendizaje. Entre estas estrategias, destacan el uso de la tecnología, enfoques constructivistas, entornos virtuales dinámicos y recursos sensoriales que abarcan lo visual, auditivo y táctil, además, se fomenta el aprendizaje colaborativo, el desarrollo progresivo de la información, el uso de ejemplos concretos y la práctica distribuida (Jamil et al., 2021; Procopio et al., 2022). Por otro lado, se propone integrar actividades artísticas y culturales como la música, el teatro y el baile, con el objetivo de promover el desarrollo de habilidades socioemocionales (Antonopoulou et al., 2023; Guillermo, Carlos, et al., 2022; Jamil et al., 2021; Ribeiro y Santos, 2020; Trainor et al., 2009). Estas actividades no solo fortalecen la capacidad de empatía y seguridad en sí mismos de los estudiantes, sino que también benefician su memoria y su capacidad para relacionarse con los conceptos matemáticos de manera más holística (Bhargava y Ramadas, 2022; Gkintoni et al., 2023; Ribeiro y Santos, 2020; Uden et al., 2023; Wilcox et al., 2021).

Resultados y discusión

La inclusión de la neuroeducación en la enseñanza de las matemáticas implica adoptar un enfoque que combina diferentes disciplinas (pedagogía, neurología, psicología, terapia ocupacional y sociología) con el propósito de mejorar la manera en que se aprende, combinando principios neurocientíficos y prácticas de enseñanza (Antonopoulou et al., 2023; Feiler y Stabio, 2018; Jamil et al., 2021). A continuación, se exploran los fundamentos neurobiológicos, educativos y de enseñanza de las matemáticas que sustentan esta convergencia, analizando su relevancia para contribuir en la mejora del rendimiento académico y el desarrollo cognitivo de los estudiantes.

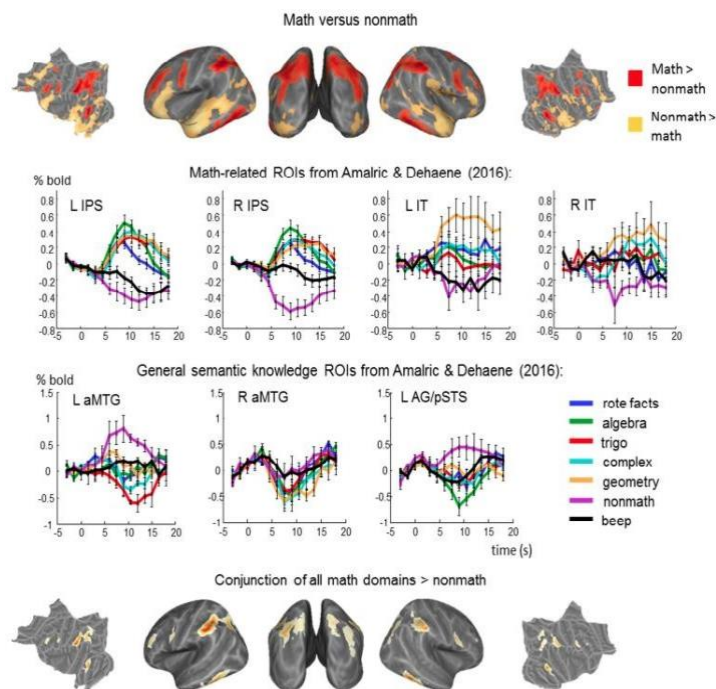
Análisis de estudios neurobiológicos y su relación con la educación

El aprendizaje de las matemáticas implica una serie compleja de procesos cognitivos mediados por la actividad neuronal en diferentes partes del cerebro. Los estudios neurocientíficos han comprobado que, regiones cerebrales tales como la corteza prefrontal, el hipocampo y la circunvolución angular están involucradas en la comprensión numérica, el razonamiento matemático y la resolución de problemas (Guillermo, Carlos, et al., 2022; Guillermo, Romero, et al., 2022). Por su parte, Wang et al. (2022), indican que, a través de investigaciones, han obtenido resultados consistentes con la localización cerebral del proceso de aprendizaje matemático, en los lóbulos frontal y parietal del cerebro, particularmente en la zona conocida como el surco apical y en la parte inferior del lóbulo parietal, donde a su vez, se identifica un mayor consumo energético lo que concuerda con lo expuesto por (Guillermo, Carlos, et al., 2022). Además, Guillermo, Carlos, et al. (2022) sugieren que en la región apical inferior se controla el pensamiento matemático y la percepción visuoespacial.

Ahora bien, Amalric y Dehaene (2019) refieren que el pensamiento matemático surge de la interacción simultánea de múltiples zonas cerebrales (Figura 1), lo cual concuerda con (Grospietsch y Lins, 2021; Guillermo, Carlos, et al., 2022) quienes exponen cómo la resolución de problemas matemáticos, requiere de una variedad de habilidades, incluyendo las lingüísticas, espaciales, conceptuales, aritméticas, algebraicas y lógicas. Sobre la base de la experiencia de la enseñanza de las matemáticas, se puede decir que en la mayoría de las situaciones, las dificultades con el aprendizaje de las matemáticas no radican en la parte operativa del proceso aritmético, algebraico o de cálculo, es decir, en la parte procedimental, sino, en la comprensión de los problemas (Ay, 2017; Kim y Opfer, 2020); es decir, el estudiante puede conocer los algoritmos para resolver operaciones matemáticas, sin embargo, la comprensión del fenómeno está ausente, razón por la cual los objetivos de enseñanza de los mismos no se logran. Por esta razón, es relevante que, además de las habilidades procedimentales, los estudiantes estén en la capacidad de comprender ¿cuál es el fenómeno o proceso?, ¿qué es lo que se está preguntando? y ¿qué datos le están proporcionando para resolver el ejercicio?

Figura 1.

Mapa de procesamiento matemático y no matemático del cerebro humano mediante resonancia magnética contrastada.



Fuente: Amalric y Dehaene (2019)

Las preguntas anteriores quizá las deben responder los estudiantes –inicialmente- con la intervención de un mediador cultural como el maestro, quien lo consigue implementando diversas estrategias, pero apoyado en los procesos de la neuroeducación, por ejemplo, en ejercicios metacognitivos o de auto-observación y auto-regulación “para definir metas de aprendizaje y la organización estratégica para lograr y garantizar la mejora continua del proceso de aprender” (Moreno Muro et al., 2021). Otros interrogantes pueden resolverse mediante neuroimágenes y modelos de plasticidad neuronal, teniendo en cuenta criterios neuroanatómicos; no obstante, según Raz y Thibault (2019) estos han sido usados más para patologías neurodegenerativas en adultos mayores, razón por la cual otros autores han reevaluado dichas apreciaciones. Debido a esto, se hace indispensable identificar perspectivas tanto a favor como en contra. Donoghue (2019) expone la visión sobre los diferentes hallazgos contradictorios en las investigaciones de neurociencia y educación,

constituyéndose en un opuesto a la visión clásica de la bondad irrestricta de la neuroeducación y la enseñanza.

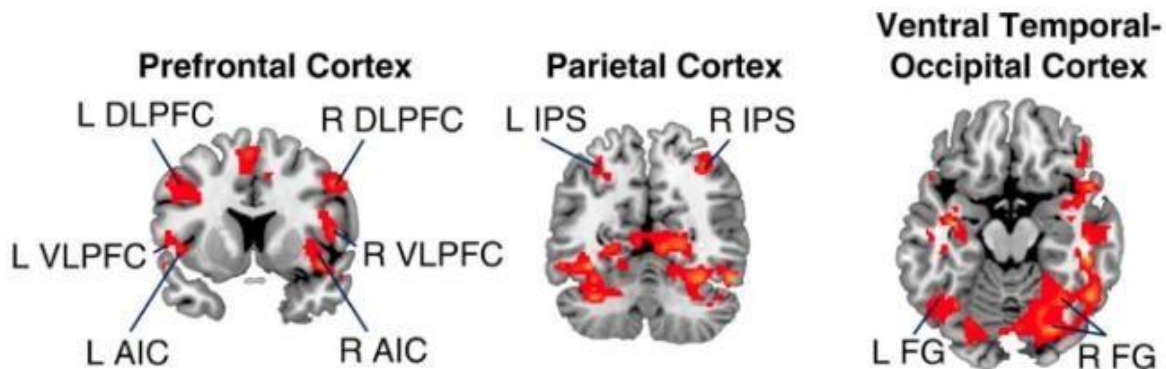
En la Figura 2 se identifican las zonas neuronales responsables del córtex prefrontal, parietal y ventroparietal del cerebro, que han sido analizadas en referencia al proceso de enseñanza de las matemáticas, destaca dentro de esta imagen la importante activación de los centros ventroparietales del córtex en el pensamiento lógico matemático, en esta parte del cerebro también se procesan los estímulos de tamaño, forma y posición de los objetos (Luculano et al., 2015).

Según lo anterior, se ha problematizado sobre si, neurobiológicamente hablando, podemos afirmar que el pensamiento matemático se da únicamente en unas ciertas zonas del cerebro o resulta de la interacción de múltiples zonas, pues la solución a problemas matemáticos involucra otros tipos de pensamientos, más allá de los meramente operativos o procedimentales (Amalric y Dehaene, 2017). Con respecto a esto, si bien muchas investigaciones hablan de que el pensamiento matemático se da en pocas zonas específicas del cerebro (Mack et al., 2018; Seger y Miller, 2010; Wang et al., 2022; Zeithamova et al., 2019), otras, mencionan que este involucra además otras habilidades que se activan en diferentes zonas (Amalric y Dehaene, 2017, 2019; Guillermo, Carlos, et al., 2022).

Hasta hace unos años se creía que el ser humano nacía con un número establecido de neuronas y que, una vez estas morían, no se renovaban ni regeneraban; esto fue refutado desde que se demostró la capacidad de producir nuevas neuronas y regenerar el tejido neuronal a través de la plasticidad (Seger y Miller, 2010). La plasticidad cerebral es un fenómeno fundamental en el aprendizaje, que permite al cerebro adaptarse estructural y funcionalmente en respuesta a la experiencia y al entrenamiento (Pascual-Leone et al., 2005).

Figura 2.

Activación neuronal y estímulo de la plasticidad en la enseñanza de las matemáticas.



Fuente: Luculano et al. (2015).

De otra parte, Menon (2010) también refiere que el perfil emocional, se puede modificar por la forma en la que se producen las redes neuronales en los infantes o por un esfuerzo consciente, de manera que comprender los mecanismos de la plasticidad neuronal es esencial para diseñar intervenciones educativas efectivas que fomenten el crecimiento de las competencias en matemáticas.

En el contexto educativo, la plasticidad cerebral se interpreta como la capacidad que tiene todo individuo humano de mejorar u optimizar sus procesos cognitivos y cognoscitivos, así como las destrezas y actitudes (Navarro y Calero, 2018). En otras palabras, esta optimización puede generarse en cualquiera de las dimensiones del aprendizaje, clasificadas por De Zubiría Samper (2006) como cognitiva, afectiva-social y práxica.

En este sentido, los profesores necesariamente deben entender, por lo menos de manera general, cómo funciona el cerebro desde una perspectiva neurobiológica, dado que tienen la responsabilidad de guiar los procesos de enseñanza para facilitar el aprendizaje en el ámbito escolar (Chávez Vaca, 2019; van Kesteren y Meeter, 2020). La comprensión del funcionamiento cerebral, que responde a la conducta y el pensamiento del ser humano permitirá al docente potenciar el aprendizaje de los estudiantes, mediante la aplicación de didácticas que favorezcan la adquisición de conocimientos, especialmente en el campo de las

matemáticas, un área que históricamente ha sido desafiante, tanto para el docente como para el estudiante.

La plasticidad cerebral es una fuente de esperanza para los profesores, especialmente en lo que respecta a la enseñanza de las matemáticas, pues insta a que el ser humano está en la capacidad de producir -biológicamente hablando- conocimientos y habilidades en el ámbito educativo. Además, muestra el reflejo de que los esfuerzos tienen recompensa; si bien se menciona que genéticamente se nace con una capacidad intelectual que se va desarrollando a medida que se crece, también refiere que, sin importar la edad, el cerebro se puede fortalecer (Guillermo, Carlos, et al., 2022; Jolles y Jolles, 2021; Raz y Thibault, 2019). Los docentes de matemáticas seguramente habrán dicho alguna vez a sus estudiantes que la práctica hace al maestro y sin saberlo han estado aplicando conocimientos neuroeducativos en esta frase.

En neurociencia educativa, el principal reto es la conjugación del conocimiento y la sensación del pensar y sentir. Asimismo, la comprensión de cómo el ser humano piensa y siente está vinculada con el aprendizaje y su abordaje es primordial con el objetivo de elevar la calidad de la enseñanza y el proceso de aprendizaje. Sumado a esto, Trainor et al. (2009) y Ribeiro y Santos (2020) mencionan que la neurociencia apoya la idea de que se fomenten en los estudiantes las actividades artísticas, particularmente la música, lo anterior concuerda con lo expuesto por (Guillermo, Carlos, et al., 2022). Por otro lado, diversas actividades artísticas y culturales como el teatro y el baile pueden promover en los estudiantes el desarrollo de habilidades socioemocionales, como la capacidad de ponerse en el lugar del otro y la seguridad en sí mismos, beneficiando así la memoria.

Conexión emocional: neurobiología, plasticidad cerebral, pedagogía y dimensión emocional

La perspectiva de la neurobiología y la pedagogía en el proceso de aprendizaje se fundamenta en una intrincada interacción entre los mecanismos neuronales y los métodos educativos empleados. En términos neurobiológicos, el aprendizaje implica la modificación de las conexiones sinápticas entre las neuronas, conocida como plasticidad sináptica, la cual es esencial para la adquisición y conservación de conocimientos (Kennedy, 2016). Desde la

pedagogía, se reconoce que el aprendizaje implica una participación activa y constructiva por parte de los estudiantes; es decir, que ellos deben ser motivados y comprometidos en la construcción de su propio conocimiento (Antonopoulou et al., 2023). Las estrategias didácticas que fomentan la participación activa del estudiante, como el aprendizaje basado en problemas o el aprendizaje colaborativo, han demostrado promover una mayor retención y comprensión de los conceptos (Guillermo, Romero, et al., 2022; Jolles y Jolles, 2021; Procopio et al., 2022). Por lo tanto, la integración de enfoques pedagógicos efectivos con la comprensión de los procesos neurobiológicos subyacentes al aprendizaje es crucial para optimizar el proceso educativo y promover un aprendizaje significativo y duradero.

Un estudio realizado por Zacharopoulos et al. (2021) fundamentó la relación entre la plasticidad cerebral y el aprendizaje matemático. Los hallazgos revelaron que la práctica repetida de habilidades matemáticas logra activar regiones específicas del cerebro, como el córtex prefrontal y el giro angular, promoviendo cambios estructurales y funcionales que facilitan la adquisición y el dominio de conceptos numéricos. Estos resultados sugieren que la plasticidad cerebral juega un papel crucial en la adaptación del cerebro al aprendizaje de las matemáticas, destacando la importancia de estrategias didácticas que promuevan la práctica y la repetición para optimizar el desarrollo de habilidades numéricas.

Investigaciones recientes han destacado el impacto de la emoción y la motivación en el proceso de aprendizaje de las matemáticas. Un estudio realizado por (Brink et al., 2023) examinó cómo las emociones positivas y negativas influyen en el desempeño de los estudiantes, en matemáticas. Los hallazgos revelaron que las emociones favorables, como el interés y la confianza en las propias habilidades, están asociadas con un mejor desempeño en tareas matemáticas, mientras que las emociones desfavorables, como la ansiedad, miedo y estrés pueden interferir en el rendimiento resultados que concuerdan con lo expuesto por (Amran y Bakar, 2020; Guillermo, Carlos, et al., 2022; Whiting et al., 2021; Yu, 2023).

Estos hallazgos resaltan la importancia de fomentar un ambiente emocional favorable en el salón de clases e implementar estrategias para reducir la ansiedad matemática, como el entrenamiento en habilidades de afrontamiento y la enseñanza de técnicas de regulación

emocional (Amran y Bakar, 2020; Whiting et al., 2021; Yu, 2023). Asimismo, Procopio et al. (2022) examinó cómo los principios neurocientíficos pueden contribuir a diseñar metodologías de enseñanza efectivas en el contexto de las matemáticas. Se encontró que la enseñanza de conceptos numéricos utilizando enfoques multisensoriales, como el uso de actividades prácticas, activa múltiples regiones del cerebro y promueve un entendimiento más completo de los conceptos matemáticos. Además, estrategias pedagógicas que fomentan la autorreflexión y el aprendizaje activo, tales como el aprendizaje mediante la resolución de problemas y la colaboración en equipo, han demostrado mejorar la retención y transferencia de conocimientos matemáticos (Fleur et al., 2021; Guillermo, Romero, et al., 2022; Procopio et al., 2022). Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar enfoques pedagógicos basados en la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas, con la meta de mejorar el proceso de aprendizaje y con este fortalecer la dimensión emocional, lo que contribuye a elevar el desempeño académico de los alumnos (Amran y Bakar, 2020).

Neurociencia Cognitiva y Métodos de Enseñanza de las Matemáticas

Menon (2016) indagó sobre el impacto de la consolidación de la memoria en el aprendizaje de conceptos matemáticos, utilizando técnicas de resonancia magnética funcional (por sus siglas en inglés [fMRI]). El investigador examinó la actividad cerebral durante la recuperación de información matemática después de un período de consolidación. Los resultados mostraron que el refuerzo de la memoria está asociado con modificaciones en la actividad cerebral en áreas vinculadas al procesamiento numérico y la resolución de problemas. Estos hallazgos sugieren que el tiempo dedicado a la práctica y revisión de conceptos matemáticos puede fortalecer la memoria y mejorar el rendimiento en tareas matemáticas.

Otro estudio realizado por Squire et al. (2015) investigó la efectividad de diferentes estrategias de memoria en el rendimiento en matemáticas. Los investigadores examinaron el uso de técnicas como la repetición espaciada, la elaboración y la autoevaluación en la retención de información matemática a largo plazo.

Forsberg et al. (2021) examinó cómo la atención, la memoria de trabajo y la metacognición influyen en la adquisición de conocimientos matemáticos. Además, encontró que las estrategias pedagógicas que promueven la atención selectiva, la práctica distribuida y la autorregulación del aprendizaje pueden mejorar significativamente el rendimiento matemático de los estudiantes. Estos resultados resaltan la importancia de integrar enfoques basados en la neurociencia cognitiva en la enseñanza de las matemáticas, con el propósito de mejorar la eficiencia del proceso de aprendizaje y promover una comprensión más profunda y duradera de los conceptos numéricos hallazgos respaldados por (Feiler y Stabio, 2018).

Shodiq y Rokhmawati (2021) indagaron cómo la neurociencia cognitiva impacta el aprendizaje de matemáticas en estudiantes de primaria. Los investigadores diseñaron un programa educativo basado en principios de la neurociencia cognitiva, que incluía actividades centradas en la atención selectiva, la memoria de trabajo y la resolución de problemas. Se encontró que los estudiantes que formaron parte del programa experimental evidenciaron mejoras sustanciales en sus competencias matemáticas, estos hallazgos con referencia a la memoria de trabajo, concuerdan con lo reportado por (Feiler y Stabio, 2018; Mason y Zaccoletti, 2021). Además, sugieren que la integración de enfoques neurocientíficos en la enseñanza de las matemáticas puede generar mejoras en el desempeño académico de los estudiantes. Caballero-Cobos y Llorent (2022) presentan hallazgos similares, obtenidos mediante la implementación de un estudio cuasi experimental de cohorte, con estudiantes de educación secundaria en donde se realizaron intervenciones mediante modelos de neurociencia, encontrando un efecto significativo de la intervención sobre la competencia lectora, la competencia matemática y la empatía (área social y emocional) entre los grupos experimental y control.

Herramientas tecnológicas para el aprendizaje de las matemáticas

La Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA) en Perú implementó una estrategia planteada por (Guillermo, Carlos, et al., 2022), que promueve el uso de tecnología en la enseñanza de las matemáticas, a través del uso de entornos dinámicos de geometría, como GeoGebra, Cabri II y Cabri 3D. Estas didácticas que vinculan las motivaciones intrínsecas, según Ausubel et al. (1976), provenientes de genuinos intereses del individuo, en

este caso, hacia el uso de los lenguajes tecnológicos con los que se comunican los estudiantes, fomentan el aprendizaje significativo. En este sentido la interacción de los estudiantes con los equipos de cómputo y el software estimula diferentes conexiones neuronales y esto conduce a los estudiantes a desarrollar un pensamiento matemático (Jamil et al., 2021).

Según Ausubel et al. (1976), el aprendizaje significativo sucede cuando los nuevos conocimientos se conectan de forma relevante con la estructura cognitiva del individuo, es decir, cuando el nuevo contenido se integra con los conocimientos previos de manera relevante y con sentido para el estudiante. De esta manera, el uso de entornos dinámicos de geometría, como GeoGebra, Cabri II y Cabri 3D, proporciona herramientas que permiten a los estudiantes interactuar con conceptos matemáticos de manera activa y exploratoria. Al utilizar estas herramientas tecnológicas en los laboratorios, los estudiantes tienen la oportunidad de manipular figuras geométricas, experimentar con diferentes configuraciones y observar las relaciones entre los elementos.

Además, al promover la aplicación de tecnologías en el aprendizaje de las matemáticas, se fomenta un enfoque constructivista en el que los estudiantes son agentes activos en la creación de su propio entendimiento. La interacción con entornos dinámicos de geometría les permite explorar, experimentar y construir su entendimiento de los conceptos de matemáticas de manera colaborativa y/o autónoma (Guillermo, Carlos, et al., 2022; Jamil et al., 2021). Esta experiencia práctica y visual facilita la construcción de significado en el aprendizaje de la geometría, ya que los estudiantes pueden conectar los conceptos abstractos con representaciones concretas y manipulables.

En resumen, la estrategia implementada en la UNIA (2022) en Perú, que utiliza tecnología para enseñar matemáticas, se alinea con las bases teóricas de Ausubel et al. (1976) al proporcionar a los estudiantes oportunidades para construir significado a través de la interacción activa y significativa con los conceptos matemáticos en entornos virtuales y dinámicos (Guillermo, Carlos, et al., 2022).

Esas tecnologías informáticas no deben ser parte de clases aleatorias, sino que se espera que sean integradas al currículo, mediante la implementación de diversos usos tecnológicos en la educación matemática, con el objetivo de que tanto docentes como estudiantes utilicen estas herramientas para cálculos, ajuste de ecuaciones y análisis de relaciones geométricas. Un ejemplo claro de esta situación es el enfoque educativo STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas), que promueve la interdisciplinariedad y la promoción de habilidades del siglo XXI en los estudiantes (Saborío Taylor y García Borbón, 2021).

Dentro de este marco, la tecnología informática emerge como una herramienta fundamental para potenciar la creatividad, resolver problemas y mejorar la capacidad de análisis crítico (Jamil et al., 2021; Procopio et al., 2022). Así mismo, se puede proponer la utilización de dispositivos tecnológicos y software especializados en el aula, lo cual proporciona experiencias de aprendizaje inmersivas y colaborativas, permitiendo a los estudiantes explorar conceptos abstractos de manera concreta y aplicarlos en contextos reales (Guillermo, Carlos, et al., 2022; Procopio et al., 2022). Además, la tecnología informática facilita la construcción de proyectos interactivos que integran diferentes disciplinas STEAM, fomentando así el trabajo en equipo y la innovación. En este sentido, la combinación de la teoría STEAM con la tecnología informática en la enseñanza representa una oportunidad para promover un aprendizaje significativo y capacitar a los estudiantes para afrontar los retos del mundo actual (Domínguez Osuna et al., 2019; Saborío Taylor y García Borbón, 2021).

Es por ello que el uso adecuado de las herramientas tecnológicas permite facilitar los procesos algorítmicos implícitos en la solución de cualquier problema matemático, es decir, la tecnología facilita y agiliza los procesos operativos en la solución de las diversas dificultades que encontramos en matemáticas (Santos-Trigo, 2019), sin embargo, es necesario que el estudiante conozca cómo utilizar la tecnología a su favor, debe entender los fenómenos y dominar el razonamiento matemático para evitar errores en el momento de usar las herramientas tecnológicas.

En este sentido, es fundamental que se fortalezca primero el pensamiento lógico matemático, aritmético y algebraico, de manera que el estudiante una vez comprenda el fenómeno, sepa

qué le están preguntando e identifique los datos que conoce del problema, pueda resolver, sea manualmente o utilizando alguna herramienta tecnológica.

Implementación de Estrategias y modelos Neuroeducativos en el Aula de Matemáticas

Las formas tradicionales de enseñanza han sido altamente discutidas debido a su enfoque exclusivo para entornos educativos formales, entre los que no se cuenta la educación preescolar en algunos países de América Latina. Sin embargo, se ha demostrado que las prácticas de modelos neuroeducativos pueden ser de utilidad desde la etapa escolar (Srikoon, 2021). McCandliss (2010) investigó el impacto de la neuroeducación en el desarrollo de habilidades matemáticas en niños en edad preescolar. El investigador diseñó un programa educativo basado en principios de la neuroeducación, que se centraba en el desarrollo de habilidades numéricas básicas, como el reconocimiento de números y la comprensión de conceptos de cantidad. Los resultados mostraron que los niños que participaron en el programa experimental mostraron un mejor rendimiento en pruebas de habilidades matemáticas en comparación con un grupo de control que recibió instrucción estándar.

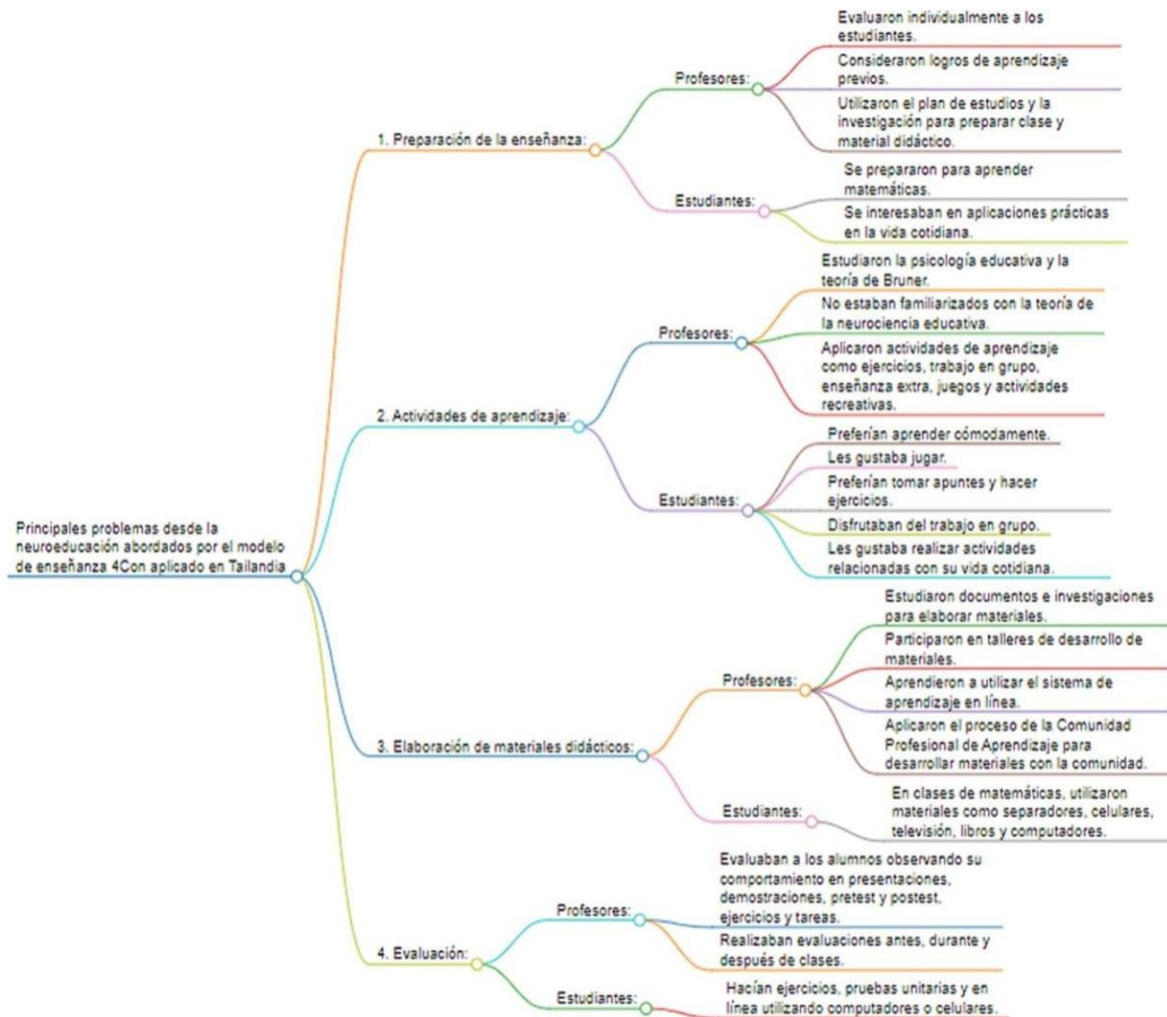
La implementación de procesos de enseñanza basados en principios neurocientíficos no es del todo ajena a la realidad de la didáctica actual de los profesores de ciencias básicas como la matemática y la física; sin embargo, se debe configurar un modelo o una estrategia que contemple la articulación e integración de diferentes factores y dimensiones del aprendizaje matemático. Algunas publicaciones recientes (de Jong, 2010; Feiler y Stabio, 2018) han examinado la eficacia de aplicar estrategias neuroeducativas en la clase de matemáticas en bachillerato. Los investigadores utilizaron técnicas de enseñanza basadas en la teoría de la carga cognitiva, que se centra en la reducción de la cantidad de actividades académicas, sin disminuir la calidad de las mismas, en este sentido lo que se busca es no sobrecargar cognitivamente al estudiante. Estas estrategias incluyeron la presentación de información de manera gradual, el uso de ejemplos concretos y la práctica distribuida. Los resultados han demostrado que cuando los estudiantes reciben instrucción utilizando estas estrategias, desarrollan una mejora significativa en su comprensión y retención de conceptos matemáticos en comparación con aquellos que recibieron instrucción estándar.

Un modelo que consigue articular e integrar niveles, habilidades, dimensiones, procesos y factores tanto de enseñanza como de aprendizaje, desde la perspectiva neuroeducativa es el *4Con* desarrollado por Srikoon (2021) en Tailandia, quien mostró que utilizaba conocimientos relevantes y contextos auténticos relativos a los sentidos, la atención, la memoria de trabajo y las emociones al proceso de enseñanza. Este modelo de enseñanza fue comparado con el modelo 5E en estudiantes de séptimo grado de dos instituciones distintas. Se encontró que entre el grupo control (5E) y el grupo experimental (4Con) no hubo diferencias significativas en el pre-test, pero sí en el pos-test luego de la aplicación de ambos modelos concluyendo que el modelo de enseñanza 4Con basado en principios de neurociencia, era capaz de mejorar el rendimiento en matemáticas más que el modelo de enseñanza 5E utilizado con el grupo control.

En la Figura 3. Se muestran las problemáticas relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas que el autor abordó a través del diseño de este modelo de enseñanza; en la Figura 4 se observan los resultados del modelo de enseñanza y en la Figura 5. Se presenta la aplicación de dicho modelo en el contexto educativo.

Figura 3.

Problemáticas abordadas por S Srikoon en su modelo 4Con.



Fuente: Elaboración propia, adaptación de Srikoon (2021)

El modelo 4Con (Convencer, Construir, Conectar y Conversar) de neurociencia aplicada a la enseñanza de las matemáticas revoluciona el enfoque pedagógico al integrar los hallazgos científicos sobre cómo funciona el cerebro en el proceso de aprendizaje matemático. Este modelo se basa en cultivar la conciencia metacognitiva del estudiante, fomentando una comprensión profunda de los conceptos matemáticos a través de múltiples representaciones y conexiones con experiencias de la vida real. Además, promueve el desarrollo de competencias matemáticas sólidas mediante estrategias de enseñanza diseñadas para activar áreas específicas del cerebro relacionadas con el pensamiento lógico y abstracto. Al adoptar el modelo 4Con, los educadores pueden optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, mejorando la retención, la comprensión y la aplicación de los conceptos matemáticos por parte de los estudiantes.

Figura 4.

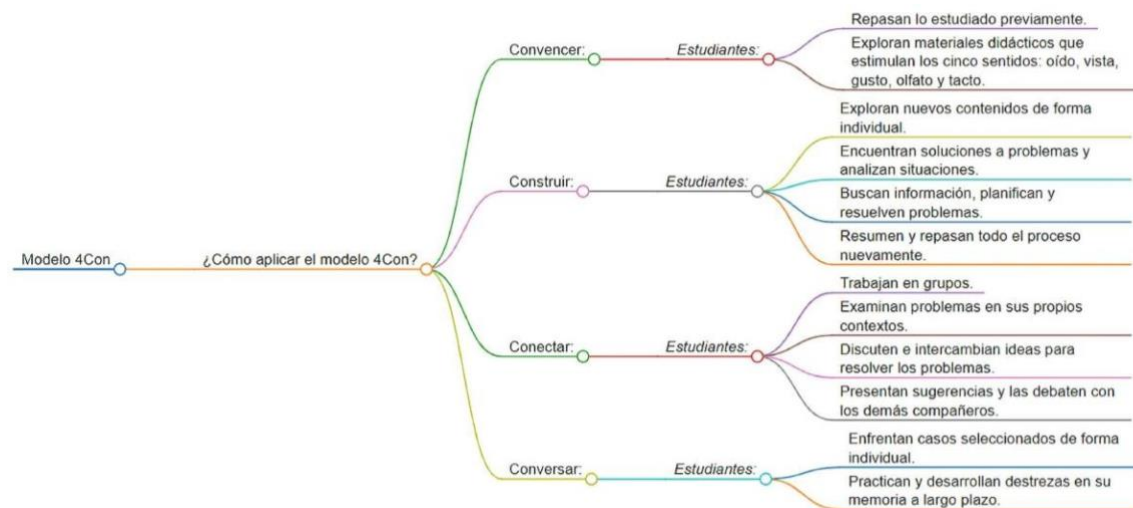
Resultados del modelo de enseñanza.



Fuente: Elaboración propia, adaptación de Srikoon (2021)

Figura 5.

Aplicación del modelo 4Con.



Fuente: Elaboración propia, adaptación de Srikoon (2021).

Inspirados en conseguir una mayor optimización del aprendizaje de las matemáticas, de forma significativa y duradera, Monfardini et al. (2017), abordan un modelo que puede ser considerado en ciertos aspectos similar al modelo de las 4Con; es el macaco Rhesus, en el que, por tener un genoma similar al humano, se utilizan mecanismos de aprendizaje basados en el simil. Se fundamenta en la capacidad neuronal del aprendizaje basado en la repetición, mediante la imitación. Durante este experimento se evaluó la posibilidad de adquirir conocimientos por medio de la visualización y la replicación en macacos mediante la ejecución combinada de patrones de conducta asistidos, algo a lo que se le ha dado el nombre en las escuelas “estudiante enseña a estudiante”.

Estos hallazgos resaltan la eficacia de las estrategias neuroeducativas en el avance del aprendizaje de las matemáticas en contextos educativos convencionales. Sin embargo, Feiler y Stabio (2018) problematizan sobre el creciente interés de agentes educativos y entidades gubernamentales por la introducción del concepto de “neurociencia educativa” si no se tiene claridad sobre la definición del concepto, las implicaciones en el modelo didáctico y las posibles brechas que pueden presentarse al implementar este tipo de estrategias.

Configuración del uso de la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas

Las siguientes son aproximaciones a la configuración del uso de la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas, abordando los interrogantes cruciales que guían la elaboración de modelos educativos, basados en principios neurocientíficos. Se exploran diferentes aspectos, factores e instrumentos, para ofrecer ideas de cómo se pueden diseñar modelos y

estrategias de enseñanza de las matemáticas que aprovechen los hallazgos de la neurociencia y, con ello, optimizar el aprendizaje, así como estrategias específicas para potenciar dichos

modelos y las prácticas de enseñanza recomendadas para su implementación efectiva en el aula.

¿Cómo se configura un modelo de enseñanza de las matemáticas basado en principios de neurociencia?

En la configuración de un modelo de enseñanza de las matemáticas basado en principios de neurociencia, es fundamental adoptar un enfoque interdisciplinario que combine diferentes disciplinas como la pedagogía, psicología, terapia ocupacional y sociología. Este enfoque busca mejorar el aprendizaje al combinar principios neurocientíficos con prácticas de enseñanza efectivas. Según varios autores, la neuroeducación se centra en comprender los procesos neuronales subyacentes al aprendizaje y aplicarlos en entornos educativos, ofreciendo una perspectiva innovadora para optimizar la adquisición de habilidades matemáticas (Bhargava y Ramadas, 2022; Gkintoni et al., 2023; Goswami, 2004; Grossberg, 2016; Jolles y Jolles, 2021; Sandrone y Schneider, 2020; Wilcox et al., 2021).

Para la implementación de un modelo de estos, es fundamental considerar aspectos clave como lo son la individualización del aprendizaje, la conexión emocional, el enfoque multisensorial y la metacognición. Estos elementos, respaldados por autores como (Cui y Zhang, 2021; Fleur et al., 2021; Ng, 2018) permiten adaptar las estrategias de enseñanza a las necesidades individuales de los estudiantes, destacando la importancia de las emociones en el proceso de aprendizaje, el estímulo multisensorial para fortalecer conexiones neuronales, y el fomento de habilidades metacognitivas para mejorar la autorregulación del aprendizaje.

En síntesis, la configuración de un modelo de enseñanza de las matemáticas, basado en principios de neurociencia implica integrar hallazgos neurocientíficos con prácticas pedagógicas efectivas, considerando la diversidad cognitiva de los estudiantes y promoviendo un ambiente educativo que estimule el aprendizaje significativo y efectivo.

¿Cómo potenciar el modelo a través de estrategias para la enseñanza de las matemáticas basadas en principios de neurociencia?

La integración de la neurociencia educativa en la enseñanza de las matemáticas implica la adopción de estrategias didácticas fundamentadas en principios neurocientíficos para potenciar el aprendizaje. Diversos autores respaldan esta perspectiva, como Bhargava y Ramadas (2022) y Jolles y Jolles (2021), quienes destacan la importancia de comprender los procesos neuronales subyacentes al aprendizaje y aplicarlos en entornos educativos. En este sentido, se propone diversificar los recursos didácticos para estimular los sentidos visuales, auditivos y táctiles, promoviendo así una mayor conexión neuronal y consolidación del conocimiento.

El enfoque basado en problemas, respaldado por autores como Guillermo, Romero, et al. (2022) y Wilcox et al. (2021), se centra en la comprensión profunda de los conceptos matemáticos a través de la resolución activa de situaciones problemáticas. Esta metodología no solo fortalece la comprensión conceptual, sino que también estimula la metacognición y las dimensiones cognitivas, procedimentales y actitudinales del aprendizaje matemático.

La implementación de estrategias didácticas que fomenten la atención selectiva, la práctica distribuida y la autorregulación del aprendizaje como sugieren Forsberg et al. (2021), contribuye significativamente a mejorar el rendimiento matemático. Asimismo, el diseño de estrategias personalizadas, el aprendizaje colaborativo y el uso de actividades artísticas y culturales son respaldados por (Amran y Bakar, 2020; Gkintoni et al., 2023; Procopio et al., 2022; Ribeiro y Santos, 2020; Trainor et al., 2009) como métodos efectivos para promover una mayor retención y comprensión de los conceptos matemáticos.

Finalmente, la aplicación de estrategias basadas en neurociencia educativa en la enseñanza de las matemáticas, sustentada por autores como Ng (2018) y Gkintoni et al. (2023), no solo mejora el rendimiento académico de los estudiantes, sino que también promueve un aprendizaje más significativo y duradero al considerar aspectos emocionales, cognitivos y sensoriales en el proceso educativo.

¿Cuáles prácticas de enseñanza de las matemáticas en contextos neuroeducativos deberían aplicarse en el aula?

La integración de la neurociencia en la enseñanza de las matemáticas ha sido respaldada por autores como Fleur et al. (2021), Bhargava y Ramadas (2022) y Jolles y Jolles (2021), quienes abogan por prácticas educativas basadas en principios neurocientíficos para mejorar el aprendizaje. Estos enfoques promueven la implementación de la metacognición y la autorregulación, estimulando diferentes habilidades cognitivas como las lingüísticas, espaciales, conceptuales, aritméticas, algebraicas y lógicas. Además, se enfatiza en la importancia de plantear interrogantes para desarrollar habilidades de comprensión a través del diálogo y preguntas reflexivas, particularmente en matemáticas, ¿cuál es el fenómeno o proceso?, ¿qué es lo que preguntan o busca que resuelva el enunciado? Y finalmente ¿de qué datos dispongo para resolver el ejercicio?

Por otro lado, la promoción de ambientes emocionales positivos en el aula y la inclusión de factores motivacionales son aspectos clave destacados por los autores para facilitar el aprendizaje matemático. Reconocer la diversidad cognitiva de los estudiantes y fomentar prácticas de autorreconocimiento a través de la metacognición, son estrategias esenciales para adaptarse a las necesidades individuales y promover un aprendizaje efectivo (Amran y Bakar, 2020; Fleur et al., 2021).

Además, la neurociencia cognitiva influye en la mejora del rendimiento matemático, al promover la atención selectiva, la práctica distribuida y la autorregulación del aprendizaje (Forsberg et al., 2021). La implementación de estrategias personalizadas, el uso de tecnología para ampliar conexiones neuronales y el fomento del aprendizaje colaborativo, son aspectos fundamentales respaldados por (Guillermo, Carlos, et al., 2022; Jamil et al., 2021; Procopio et al., 2022; Shodiq y Rokhmawati, 2021) para mejorar las competencias matemáticas de los estudiantes.

Por lo que, la aplicación de principios neurocientíficos en la enseñanza de las matemáticas implica una variedad de prácticas que van desde la estimulación multisensorial hasta el fomento de habilidades metacognitivas y emocionales (Amran y Bakar, 2020; Fleur et al.,

2021; Yu, 2023). Estas buscan no solo mejorar el rendimiento académico, sino también promover un aprendizaje significativo y duradero en los estudiantes.

Conclusiones

Los estudios revisados sugieren que comprender los principios neurobiológicos que subyacen a la enseñanza de las matemáticas, como la plasticidad cerebral y la memoria de trabajo, puede contribuir al diseño de estrategias de enseñanza efectivas. Se ha demostrado que la implementación de métodos que fomentan la elección, la asignación de tareas y la autorregulación en el aprendizaje ayuda a retener y comprender conceptos matemáticos, reducir la ansiedad y aumentar el interés de los estudiantes en la materia.

Además, las investigaciones muestran que el uso de métodos neuroeducativos en la enseñanza de las matemáticas es eficaz desde una edad temprana, ayudando a desarrollar las habilidades cognitivas en los estudiantes y preparándolos para la educación superior más adelante. Es de vital importancia resaltar que el aprendizaje sea determinado por la “motivación intrínseca” y que diferentes modelos han evaluado las modificaciones posibles para incrementar el porcentaje de adquisición de conocimientos más sobre el estímulo de la mentalidad de crecimiento que sobre las “ganas de saber”.

Las colaboraciones entre investigadores, educadores y profesionales médicos contribuirán al desarrollo continuo de la neurociencia y las actividades educativas relacionadas con la neurociencia con el objetivo de mejorar la educación y el éxito académico de todos los estudiantes.

Referencias bibliográficas

- Amalric, M., & Dehaene, S. (2017). Cortical circuits for mathematical knowledge: evidence for a major subdivision within the brain's semantic networks. *Philosophical Transactions B*, 373(1740), 20160515. doi:<https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0515>
- Amalric, M., & Dehaene, S. (2019). A distinct cortical network for mathematical knowledge in the human brain. *NeuroImage*, 189, 19-31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.001>

- Amran, M. S., & Bakar, A. A. (2020). We Feel, Therefore We Memorize: Understanding Emotions in Learning Mathematics Using Neuroscience Research Perspectives. *Universal Journal of Educational Research*, 8(11B), 5943-5950. doi:10.13189/ujer.2020.082229
- Antonopoulou, H., Halkiopoulou, C., & Gkintoni, E. (2023). Educational Neuroscience and its Contribution to Math Learning. *Technium Education and Humanities*, 4, 86-95. doi:<https://doi.org/10.47577/teh.v4i.8237>
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Vol. 3): Trillas México.
- Ay, Y. (2017). A review of research on the misconceptions in mathematics education. *Education Research Highlights in Mathematics, Science and Technology*, 12(1), 21-31.
- Bellon, E., Fias, W., Ansari, D., & De Smedt, B. (2020). The neural basis of metacognitive monitoring during arithmetic in the developing brain. *Hum Brain Mapp*, 41(16), 4562-4573. doi:<https://doi.org/10.1002/hbm.25142>
- Bhargava, A., & Ramadas, V. (2022). Implications of neuroscience/neuroeducation in the field of education to enhance the learning outcomes of the students. *Journal of Positive School Psychology*, 6(6), 6502-6510.
- Brink, H. W., Krijnen, W. P., Loomans, M. G. L. C., Mobach, M. P., & Kort, H. S. M. (2023). Positive effects of indoor environmental conditions on students and their performance in higher education classrooms: A between-groups experiment. *Science of The Total Environment*, 869, 161813. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161813>
- Caballero-Cobos, M., & Llorent, V. J. (2022). Los efectos de un programa de formación docente en neuroeducación en la mejora de las competencias lectoras, matemática, socioemocionales y morales de estudiantes de secundaria. Un estudio cuasi-experimental de dos años. *Revista de Psicodidáctica*, 27(2), 158-167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.psicod.2022.04.001>
- Chandrasekaran, C. (2017). Computational principles and models of multisensory integration. *Current Opinion in Neurobiology*, 43, 25-34. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conb.2016.11.002>
- Chang, Z., Schwartz, M. S., Hinesley, V., & Dubinsky, J. M. (2021). Neuroscience Concepts Changed Teachers' Views of Pedagogy and Students. *Frontiers in Psychology*, 12. doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.685856>
- Chávez Vaca, V. A. (2019). Mecanismos biológicos del aprendizaje y el control neural en los periodos sensibles de desarrollo infantil. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación* (26), 171-195. doi:<https://doi.org/10.17163/soph.n26.2019.05>

- Cui, Y., & Zhang, H. (2021). Educational Neuroscience Training for Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge Construction. *Frontiers in Psychology*, 12. doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.792723>
- de Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38(2), 105-134. doi:10.1007/s11251-009-9110-0
- De Zubiría Samper, J. (2006). *Los modelos pedagógicos: hacia una pedagogía dialogante*: Coop. Editorial Magisterio.
- Domínguez Osuna, P. M., Oliveros Ruiz, M. A., Coronado Ortega, M. A., & Valdez Salas, B. (2019). Retos de ingeniería: enfoque educativo STEM+ A en la revolución industrial 4.0. *Innovaciones Educativas*, 19(80), 15-32. doi:<https://doi.org/10.22458/ie.v23iespecial.3502>
- Donoghue, G. (2019). 6 - The brain in the classroom: The mindless appeal of neuroeducation. In A. Raz & R. T. Thibault (Eds.), *Casting Light on the Dark Side of Brain Imaging* (pp. 37-40): Academic Press.
- TECNOLOGÍAS PARA APRENDER: POLÍTICA NACIONAL PARA IMPULSAR LA INNOVACIÓN EN LAS PRÁCTICAS EDUCATIVAS A TRAVÉS DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES, (2020).
- Echazarra, A., & Schwabe, M. (2019). *Colombia-Country Note-PISA 2018 Results*. Retrieved from https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_COL_ESP.pdf
- Feiler, J. B., & Stabio, M. E. (2018). Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature. *Trends in Neuroscience and Education*, 13, 17-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tine.2018.11.001>
- Fleur, D. S., Bredeweg, B., & van den Bos, W. (2021). Metacognition: ideas and insights from neuro- and educational sciences. *npj Science of Learning*, 6(1), 13. doi:10.1038/s41539-021-00089-5
- Forsberg, A., Blume, C. L., & Cowan, N. J. D. p. (2021). The development of metacognitive accuracy in working memory across childhood. *Developmental psychology*, 57(8), 1297. doi:<https://doi.org/10.1037/dev0001213>
- Gkintoni, E., Dimakos, I., Halkiopoulos, C., & Antonopoulou, H. (2023). Contributions of Neuroscience to Educational Praxis: A Systematic Review. *Emerging Science Journal*, 7, 146-158. doi:10.28991/ESJ-2023-SIED2-012
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and Education. *British journal of educational psychology*, 74(1), 1-14. doi:<https://doi.org/10.1348/000709904322848798>

- Grospietsch, F., & Lins, I. (2021). Review on the Prevalence and Persistence of Neuromyths in Education – Where We Stand and What Is Still Needed. *frontiers in Education*, 6. doi:<https://doi.org/10.3389/feduc.2021.665752>
- Grossberg, S. (2016). Neural Dynamics of the Basal Ganglia During Perceptual, Cognitive, and Motor Learning and Gating. In J.-J. Sghomonian (Ed.), *The Basal Ganglia: Novel Perspectives on Motor and Cognitive Functions* (pp. 457-512). Cham: Springer International Publishing.
- Gual, L. M. (2018). La desigualdad de los resultados educativos en Latinoamérica: un análisis desde PISA. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 48(2), 45-70.
- Guillermo, J. C. L., Carlos, M. M. M., Sanchez, C. A. N., & Sandoval, J. C. G. (2022). Neurosciences and Mathematics Teaching at the Universidad Nacional Intercultural De La Amazonia: An Anthology of the Didactic Situation. *NeuroQuantology*, 20(8), 1084-1092. doi:10.14704/nq.2022.20.8.NQ44118
- Guillermo, J. C. L., Romero, A. A., Sandoval, R. E. S., Espinoza, J. L. V., & Arenas, R. D. M. (2022). Problem-based learning and its relationship to neuroscience in undergraduate university students. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13(4), 645-651. doi:<https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.04.086>
- Jamil, N., Belkacem, A. N., Ouhbi, S., & Guger, C. (2021). Cognitive and Affective Brain–Computer Interfaces for Improving Learning Strategies and Enhancing Student Capabilities: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 9, 134122 - 134147. doi:10.1109/ACCESS.2021.3115263
- Jiménez, M. J. B., Bernate, J., Fonseca, I., & Rodríguez, L. (2020). Revisión documental de estrategias pedagógicas utilizadas en el área de la educación física, para fortalecer las competencias ciudadanas. *Retos*, 38, 845-851. doi:10.47197/retos.v38i38.74918
- Jolles, J., & Jolles, D. D. (2021). On Neuroeducation: Why and How to Improve Neuroscientific Literacy in Educational Professionals. *Frontiers in Psychology*, 12. doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.752151>
- Kennedy, M. B. (2016). Synaptic Signaling in Learning and Memory. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 8(2), a016824. doi:10.1101/cshperspect.a016824
- Kim, D., & Opfer, J. E. (2020). Compression is evident in children’s unbounded and bounded numerical estimation: Reply to Cohen and Ray (2020). *Developmental psychology*, 56(4), 853-860. doi:<https://doi.org/10.1037/dev0000886>
- Luculano, T., Rosenberg-Lee, M., Richardson, J., Tenison, C., Fuchs, L., Supekar, K., & Menon. (2015). Cognitive tutoring induces widespread neuroplasticity and remediates brain function in children with mathematical learning disabilities. *Nature Communications*, 6(1), 8453. doi:<https://doi.org/10.1038/ncomms9453>

- Mack, M. L., Love, B. C., & Preston, A. R. (2018). Building concepts one episode at a time: The hippocampus and concept formation. *Neuroscience Letters*, 680, 31-38. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.07.061>
- Mason, L., & Zaccoletti, S. (2021). Inhibition and Conceptual Learning in Science: a Review of Studies. *Educational Psychology Review*, 33(1), 181-212. doi:<https://doi.org/10.1007/s10648-020-09529-x>
- McCandliss, B. D. (2010). Educational neuroscience: The early years. *107*(18), 8049-8050. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1003431107>
- Menon, V. (2010). Developmental cognitive neuroscience of arithmetic: implications for learning and education. *Zdm*, 42(6), 515-525. doi:<https://doi.org/10.1007/s11858-010-0242-0>
- Menon, V. (2016). Memory and cognitive control circuits in mathematical cognition and learning. In M. Cappelletti & W. Fias (Eds.), *Progress in Brain Research* (Vol. 227, pp. 159- 186): Elsevier.
- Monfardini, E., Reynaud, A. J., Prado, J., & Meunier, M. (2017). Social modulation of cognition: Lessons from rhesus macaques relevant to education. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 82, 45-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.12.002>
- Moreno Muro, J. P., Arbulú Pérez Vargas, C. G., & Montenegro Camacho, L. (2021). La metacognición como factor de desarrollo de competencias en la educación peruana. *Revista Educación*, 46(1), 500-517. doi:10.15517/revedu.v46i1.43724
- Navarro, E., & Calero, M. D. (2018). Cognitive Plasticity in Young-Old Adults and Old-Old Adults and Its Relationship with Successful Aging. *3*(4), 76.
- Ng, B. (2018). The Neuroscience of Growth Mindset and Intrinsic Motivation. *brain sciences*, 8(2), 20. doi:<https://doi.org/10.3390/brainsci8020020>
- OECD. (2023a). *PISA 2022 Results (Volume I)*. OECD. (2023b). *PISA 2022 Results (Volume II)*.
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). THE PLASTIC HUMAN BRAIN CORTEX. *Annual Review of Neuroscience*, 28(1), 377-401. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>
- Procopio, M., Fernandes Procopio, L., Yáñez-Araque, B., & Fernández-César, R. (2022). Cooperative work and neuroeducation in mathematics education of future teachers: A good combination? *Frontiers in Psychology*, 13, 01-08. doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1005609>
- Raz, A., & Thibault, R. T. (2019). *Casting light on the dark side of brain imaging*: Academic Press.

- Ribeiro, F. S., & Santos, F. H. (2020). Persistent Effects of Musical Training on Mathematical Skills of Children With Developmental Dyscalculia. *10*. doi:10.3389/fpsyg.2019.02888.
- Saborío Taylor, S., & García Borbón, M. (2021). Construyendo una STEAM-E-WEB (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics-English Web). *Innovaciones Educativas*, 23(Especial), 133 - 146. doi:<https://doi.org/10.22458/ie.v23iEspecial.3502>
- Sandrone, S., & Schneider, L. D. (2020). Active and Distance Learning in Neuroscience Education. *Neuron*, 106(6), 895-898.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.06.001>
- Santos-Trigo, M. (2019). Mathematical Problem Solving and the Use of Digital Technologies. In P. Liljedahl & M. Santos-Trigo (Eds.), *Mathematical Problem Solving: Current Themes, Trends, and Research* (pp. 63-89). Cham: Springer International Publishing.
- Seger, C. A., & Miller, E. K. (2010). Category Learning in the Brain. *33*(1), 203-219.
doi:10.1146/annurev.neuro.051508.135546
- Shodiq, L. J., & Rokhmawati, A. (2021). Development cognitive neuroscience based learning to use lesson study for learning community to increase mathematical literacy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1839(1), 012022. doi:10.1088/1742-6596/1839/1/012022
- Squire, L. R., Genzel, L., Wixted, J. T., & Morris, R. G. (2015). Memory consolidation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 7(8), a021766.
doi:10.1101/cshperspect.a021766
- Srikoon, S. (2021). The Development of Teaching Model based-on Educational Neuroscience to Enhance Mathematics Achievement. *Journal of Physics: Conference Series*, 1835(1), 012040. doi:<https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012040>
- Suárez-Pellicioni, M., Demir-Lira, Ö. E., & Booth, J. R. (2021). Neurocognitive mechanisms explaining the role of math attitudes in predicting children's improvement in multiplication skill. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 21(5), 917-935.
doi:<https://doi.org/10.3758/s13415-021-00906-9>
- Trainor, L. J., Shahin, A. J., & Roberts, L. E. (2009). Understanding the Benefits of Musical Training. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 133-142.
doi:<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04589.x>
- Uden, L., Sulaiman, F., Ching, G. S., & Rosales, J. J. (2023). Integrated science, technology, engineering, and mathematics project-based learning for physics learning from neuroscience perspectives. *Frontiers in Psychology*, 14, 01-15.
doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1136246>

- van Kesteren, M. T. R., & Meeter, M. (2020). How to optimize knowledge construction in the brain. *npj Science of Learning*, 5(1), 5. doi:10.1038/s41539-020-0064-y
- Vasquez-Anaya, E., Mogrovejo-Torres, L., Aliaga-Ahuanari, V., & Iraola-Real, I. (2021). *Comparative Study of Academic Performance in the 2018 PISA Test in Latin America*. Paper presented at the The International Conference on Advances in Emerging Trends and Technologies.
- Wang, L., Li, M., Yang, T., Wang, L., & Zhou, X. (2022). Mathematics Meets Science in the Brain. *Cerebral Cortex*, 32(1), 123-136.
doi:<https://doi.org/10.1093/cercor/bhab198> Whiting, S. B., Wass, S. V., Green, S., &
- Thomas, M. S. C. (2021). Stress and Learning in Pupils: Neuroscience Evidence and its Relevance for Teachers. *Mind Brain Educ*, 15(2), 177-188.
doi:<https://doi.org/10.1111/mbe.12282>
- Wilcox, G., Morett, L. M., Hawes, Z., & Dommett, E. J. (2021). Why Educational Neuroscience Needs Educational and School Psychology to Effectively Translate Neuroscience to Educational Practice. *Frontiers in Psychology*, 11, 618449.
doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.618449>
- Yu, H. (2023). The neuroscience basis and educational interventions of mathematical cognitive impairment and anxiety: a systematic literature review. *Frontiers in Psychology*, 14. doi:<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1282957>
- Zacharopoulos, G., Sella, F., & Cohen Kadosh, R. (2021). The impact of a lack of mathematical education on brain development and future attainment. *PNAS*, 118(24), e2013155118. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.2013155118>
- Zeithamova, D., Mack, M. L., Braunlich, K., Davis, T., Seger, C. A., Kesteren, M. T. R. v., & Wutz, A. (2019). Brain Mechanisms of Concept Learning. 39(42), 8259-8266.
doi:10.1523/JNEUROSCI.1166-19.2019 %J The Journal of Neuroscience
- Zhai, X., Chu, X., Chai, C. S., Jong, M. S. Y., Istenic, A., Spector, M., Li, Y. (2021). A Review of Artificial Intelligence (AI) in Education from 2010 to 2020. *Complexity*, 2021, 8812542. doi:10.1155/2021/8812542

Anexo 1. Fichas de revisión de documentos

Fichas de revisión de documentos