

Áreas del cerebro para el aprendizaje de las matemáticas en la educación secundaria

Areas of the brain for learning mathematics in secondary education

Brayan Reyes^{1,a}, Michael Alvarado^{1,b} y Víctor Jama^{1,c}

¹Universidad Laica Eloy Alfaro. Facultad de Educación. Manabí, Ecuador.

^aORCID: [0009-0009-0908-8372](https://orcid.org/0009-0009-0908-8372) E-mail: e1312916859@live.uelam.edu.ec

^bORCID: [0009-0007-8529-6582](https://orcid.org/0009-0007-8529-6582) E-mail: e1150725305@live.uelam.edu.ec

^cORCID: [0000-0001-8053-5475](https://orcid.org/0000-0001-8053-5475) E-mail: victor.jama@uelam.edu.ec

Recibido: 13/02/2025

Aceptado: 20/05/2025

Sección: Artículo Original

Resumen

La neurociencia ha transformado la comprensión del aprendizaje, integrando disciplinas como la psicología cognitiva y la educación, lo que permite optimizar estrategias pedagógicas en áreas complejas como las matemáticas. Las áreas de Brodmann juegan un rol esencial en procesos cognitivos como la memoria de trabajo, la regulación emocional y la planificación para el aprendizaje matemático. El objetivo de la investigación fue analizar la relación de las áreas específicas del cerebro que se activan durante el aprendizaje de las matemáticas. El enfoque de la investigación fue cuantitativo de tipo descriptivo y correlacional. Se estableció una muestra de 188 en donde 106 fueron de género masculino y 82 de género femenino que se encontraban entre los 15 y 18 años. Se aplicó un cuestionario estructurado validado por tres expertos en el área de la neurociencia y matemáticas, así mismo estadísticamente se obtuvo una fiabilidad de un Alpha de Cronbach 0.75 que permitió medir la influencia de las áreas cerebrales, los recursos pedagógicos y el impacto emocional en el aprendizaje de matemáticas. El análisis de resultados evidenció activación frecuente en áreas cerebrales relacionadas con planificación y memoria, uso moderado de recursos pedagógicos y niveles medios de autorregulación. Se halló una correlación significativa entre áreas cerebrales y recursos utilizados ($r = 0.632$, $p < 0.01$). En conclusión, se identificaron seis áreas cerebrales con un papel fundamental en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de educación secundaria. Se evidenció que el aprendizaje matemático no se limita a la lógica simbólica, sino que implica una interacción compleja entre procesos emocionales y cognitivos.

Palabras clave: Neurociencia, aprendizaje, emociones, cognición, educación.

Abstract

Neuroscience has transformed our understanding of learning, integrating disciplines such as cognitive psychology and education, which allows for the optimization of teaching strategies in complex areas such as mathematics. Brodmann areas play an essential role in cognitive processes such as working memory, emotional regulation, and planning for mathematical learning. The objective of the research was to analyze the relationship between specific areas of the brain that are activated during mathematics learning. The research approach was quantitative, descriptive and correlational. A sample of 188 participants was established, of which 106 were male and 82 were female, aged between 15 and 18 years old. A structured questionnaire validated by three experts in the field of neuroscience and mathematics was administered. A Cronbach's alpha reliability coefficient of 0.75 was obtained, which allowed for the measurement of the influence of brain areas, pedagogical resources, and emotional impact on mathematics learning. The analysis of the results showed frequent activation in brain areas related to planning and memory, moderate use of teaching resources and average levels of self-regulation. A significant correlation was found between brain areas and resources used ($r = 0.632$, $p < 0.01$). In conclusion, six brain areas were identified as playing a key role in the learning of mathematics in secondary school students. It was shown that mathematical learning is not limited to symbolic logic, but involves a complex interaction between emotional and cognitive processes.

Keywords: Neuroscience, learning, emotions, cognition, education.

Introducción

Uno de los retos persistentes en el ámbito educativo es comprender por qué muchos estudiantes experimentan dificultades significativas en el aprendizaje de las matemáticas durante la educación secundaria. Más que una simple deficiencia pedagógica o falta de interés, este fenómeno refleja la complejidad de los procesos cognitivos implicados en el razonamiento matemático. El método de enseñanza tradicional, basado en la repetición mecánica y la memorización, ha demostrado ser insuficiente para abordar las características únicas del desarrollo cerebral de los adolescentes (Amiripour & Khodabandelou, 2019). Esto ha dado lugar a bajos niveles como Mogollón & Chacín (2010) menciona: comprensión, ansiedad matemática y aversión a esta materia. El problema estructural de la falta de conexión entre las prácticas docentes y las bases neurológicas del aprendizaje impide el desarrollo integral del estudiante (Regidor & Ausín, 2020).

La neurociencia ha transformado la comprensión del aprendizaje al revelar los procesos subyacentes que lo sustentan, lo cual ha permitido integrar disciplinas como la psicología cognitiva y la educación (Romero et al., 2022). Dentro de este marco interdisciplinario, numerosos estudios como los de Amalric & Dehaene (2016); Bravo (2016) y (Adeilton et al. (2025) datan que las matemáticas representan un pilar esencial en el desarrollo cognitivo, académico y profesional de los individuos (Arsalidou & Taylor, 2011; Liu & Huang, 2016). Este enfoque neurocientífico proporciona herramientas para diseñar estrategias pedagógicas que optimicen la enseñanza al alinearse con los procesos neurológicos implicados, fomentando un aprendizaje más eficaz (Baker et al., 2012).

El cerebro humano, con su intrincada red de neuronas y áreas funcionales especializadas, ha sido objeto de investigación continua (Benavides-Varela et al., 2015). Sin embargo, ha sido en las últimas décadas que los avances en neurociencia han permitido mapear con mayor precisión las regiones cerebrales responsables de funciones específicas, como el aprendizaje matemático (Moeller et al., 2015). Alexander Luria, considerado un pionero en este campo, destacó cómo las diferentes áreas del cerebro están asociadas a funciones cognitivas fundamentales (Luria & Xomskaya, 2002). Este estudio según Akhutina (2002) se centra en identificar y analizar las regiones cerebrales que se activan durante la resolución de problemas matemáticos, que profundiza en sus roles y procesos como también

menciona Rivera-Rivera (2019) la memoria de trabajo, el razonamiento lógico y la integración multisensorial.

La teoría que sustenta este fenómeno como menciona Bullón (2017) con las teorías del cerebro Triuno propuesta por Roger Sperry en 1973 y Paul MacLean en 1990 y la teoría del cerebro total propuesta por Ned Herrmann en 1994 (Velásquez et al., 2006). Este campo ha demostrado que el aprendizaje se produce cuando se estimulan circuitos neuronales específicos a través de experiencias significativas y reguladas emocionalmente (Adeilton et al., 2025; Cantillo-Rudas et al., 2024).

Por ejemplo, se ha observado que los altos niveles de estrés en el aula, mediados por la secreción de cortisol, pueden deteriorar la función del hipocampo y la corteza prefrontal, lo que afecta directamente a la memoria de trabajo y al razonamiento lógico (Dundar & Ayvaz, 2016; Febrialismanto & Haryanto, 2023). La amígdala, en su capacidad de reguladora emocional, participa activamente en este proceso, lo que pone de relieve la necesidad de incorporar factores emocionales en la enseñanza de las matemáticas (Arsalidou et al., 2018; Roque Herrera et al., 2018). A esta comprensión se suma el aporte de las teorías de lateralización cerebral, como las formuladas por Sperry y Gazzaniga y recogidas por Serpa (1984), las cuales han evidenciado cómo ambos hemisferios cerebrales, a pesar de sus especializaciones funcionales.

Es necesario identificar una brecha significativa en la formación del profesorado y la planificación curricular, Según Amran et al. (2019), la integración de las ciencias del cerebro y las prácticas educativas no solo mejora nuestra comprensión de los mecanismos neuronales del aprendizaje, sino que también proporciona estrategias de enseñanza más eficaces que son sensibles al desarrollo biológico de los estudiantes. De hecho, según Febrialismanto & Haryanto (2023), el aprendizaje neurocientífico ofrece técnicas que no solo mejoran las habilidades cognitivas de orden superior (HOTS), sino que también refuerzan la regulación emocional, que es esencial para mantener la concentración en situaciones difíciles, como las que requieren la resolución de problemas matemáticos (Adeilton et al., 2025; Silva et al., 2022). Por lo tanto, es imperativo investigar y difundir cómo se pueden optimizar los entornos de aprendizaje basándose en el funcionamiento del cerebro.

Los estudiantes con dificultades en matemáticas a menudo presentan patrones de activación cerebral

diferentes a los de sus compañeros, lo que indica la necesidad de implementar intervenciones específicas para corregir estas diferencias (Procopio et al., 2024). Al entender las bases neurológicas de estas dificultades, se pueden diseñar programas de apoyo más efectivos y adaptados a las necesidades individuales de los estudiantes (Dundar & Ayvaz, 2016; Fyfe et al., 2014).

En este contexto, el objetivo del estudio fue analizar la relación de las áreas específicas del cerebro para el aprendizaje de las matemáticas. Ya que, en efecto, el aprendizaje matemático implica el aprendizaje frontal, temporal medial e hipo céntrico, donde las diferentes regiones asociadas con el razonamiento lógico, la memoria de trabajo y la consolidación del aprendizaje a largo plazo. Así mismo se buscó describir los tipos de recursos que se utilizan en el aprendizaje de las matemáticas.

Marco Teórico

Áreas de Brodmann y su implicación en el aprendizaje matemático

Las áreas de Brodmann representan un avance significativo en el entendimiento de la organización funcional del cerebro, estas anteriormente fueron introducidas por Korbinian Brodmann recopilado por Loukas et al. (2011) a principios del siglo XX, estas áreas son regiones especializadas de la corteza cerebral, clasificadas según su citoarquitectura y funciones específicas. Brodmann identificó 52 regiones cerebrales, numeradas del 1 al 52, que están asociadas con funciones cognitivas, motoras y sensoriales (Ardila et al., 2016). En el contexto del aprendizaje matemático, se han destacado varias áreas clave por su rol en procesos cognitivos complejos según Brodmann (1999):

- Área 9: Prefrontal (parte superior), relacionada con funciones ejecutivas y control cognitivo.
- Área 10: Prefrontal (parte inferior), involucrada en la toma de decisiones y autorreflexión.
- Área 11: Prefrontal (órbita frontal), asociada con la regulación emocional e interacción social.
- Área 17: Corteza visual primaria, esencial para el procesamiento visual inicial.
- Área 19: Corteza visual asociativa, relacionada con procesos de percepción visual más complejos.
- Área 20: Corteza temporal inferior, asociada con el reconocimiento de objetos y la memoria visual.
- Área 21: Corteza temporal media, implicada en procesos de asociación auditiva y visual.

- Área 23: Corteza cingulada posterior, relacionada con la memoria espacial y la orientación.
- Área 24: Corteza cingulada anterior, involucrada en la regulación emocional y la toma de decisiones.
- Área 26: Corteza entorrinal, asociada con la memoria espacial y la navegación.
- Área 30: Corteza entorrinal, también involucrada en la memoria espacial y la percepción del tiempo.
- Área 31: Corteza parahipocampal, relacionada con la memoria y la integración de información emocional.
- Área 32: Corteza cingulada anterior, con funciones similares a las del área 24.
- Área 35: Corteza entorrinal, involucrada en la formación de nuevos recuerdos.
- Área 36: Corteza entorrinal, contribuye a la memoria y al reconocimiento de objetos.
- Área 38: Corteza temporal medial, asociada con la recuperación de la memoria episódica.
- Área 40: Surco angular, vinculado a la integración de información sensorial y la memoria semántica.
- Área 46: Corteza prefrontal dorsolateral, implicada en la memoria de trabajo y la planificación.

Estas áreas trabajan en conjunto para facilitar el razonamiento lógico, la resolución de problemas y la integración multisensorial durante el aprendizaje matemático. Además, técnicas como la neuroimagen han permitido observar patrones de activación cerebral que proporcionan información valiosa sobre cómo los conceptos matemáticos son procesados y almacenados en estas regiones (Radford & André, 2009).

Aprendizaje matemático desde la neuropsicología

La investigación en neuropsicología y neurociencias de la educación ha enriquecido la comprensión del aprendizaje matemático al integrar enfoques interdisciplinarios. Argumentan Luria & Xomskaya (2002), considerados uno de los mayores precursores en este campo, aportó un enfoque holístico para estudiar las funciones cerebrales. Su concepto de corteza cerebral dinámica describe cómo las áreas del cerebro interactúan para respaldar la cognición y el comportamiento. Luria enfatizó la importancia de la interconexión entre regiones cerebrales para explicar la complejidad de procesos como el aprendizaje de las matemáticas (Rivera, 2024).

Así mismo, (Rivera, 2024) menciona que:

El tercer subsistema de (Gal'perin, 1967), relacionado con la transición de acciones externas a operaciones mentales, es clave para

el aprendizaje matemático, ya que permite la internalización progresiva de las operaciones. Este proceso, estructurado en seis fases, guía al estudiante desde la manipulación de objetos concretos hacia el dominio autónomo de operaciones mentales. Inicialmente, el esquema orientador del EBOA proporciona una base estructurada para realizar la tarea, mientras que las fases de orientación material y verbal facilitan la consolidación de los procesos. En la etapa final, las acciones se automatizan, permitiendo operar directamente con conceptos y significados. En matemáticas, esto se refleja cuando los estudiantes realizan cálculos complejos de manera fluida y sin esfuerzo consciente, evidenciando un alto grado de internalización y dominio (p. 24).

Por otro lado, investigaciones recientes, como las de Bravo (2016), han explorado la relación entre psicología cognitiva, neurociencias de la educación y el aprendizaje matemático. Bravo destacó tres categorías fundamentales de representaciones numéricas: verbales, semánticas y visoespaciales, esenciales para la comprensión de conceptos matemáticos. Estas representaciones planteadas por Coch & Ansari (2009) están influenciadas por patrones de activación cerebral observados mediante neuroimagen, lo que refuerza la necesidad de enfoques pedagógicos adaptativos que consideren las diferencias individuales en el procesamiento cerebral (pp. 546-547).

164 Además, las teorías de lateralización cerebral, como las propuestas por Sperry y Gazzaniga, mencionado por (Serpa, 1984) han complementado este entendimiento al demostrar cómo los hemisferios cerebrales contribuyen conjuntamente al aprendizaje matemático. Aunque cada hemisferio tiene especializaciones específicas, como el pensamiento analítico en el izquierdo y el pensamiento imaginativo en el derecho, las investigaciones actuales subrayan que ambos hemisferios trabajan en sincronía para procesar tareas matemáticas complejas (Ramírez & Rosas, 2015).

Metodología

Enfoque

La presente investigación se llevó a cabo con un enfoque cuantitativo, según Lagarda et al. (2016) orientado a la recolección y análisis de datos numéricos que permitieran identificar y caracterizar la relación entre las capacidades cognitivas y emocionales de

los estudiantes y las áreas específicas del cerebro implicadas en el aprendizaje de las matemáticas.

El tipo de investigación adoptado fue de carácter descriptivo, diseñado para detallar y analizar cómo las áreas de Brodmann relacionadas con la regulación emocional, la memoria y la planificación influyen en el aprendizaje de las matemáticas. Este tipo de investigación para Mohammad (2000) es adecuado cuando se busca describir fenómenos de manera precisa y estructurada, ofreciendo un panorama integral de las capacidades emocionales y cognitivas que impactan el rendimiento matemático. El análisis descriptivo y correlacional permitió comprender las particularidades de la interacción entre procesos cognitivos y emocionales en el contexto del aprendizaje, sin intervenir directamente en las variables del estudio.

Participantes

La población objetivo estuvo conformada por 360 estudiantes de la Unidad Educativa Fiscomisional 5 de mayo, quienes cursaban los niveles de Primero, Segundo y Tercero de Bachillerato. A partir de esta población inicial, se aplicó un muestreo aleatorio simple para garantizar que todos los estudiantes tuvieran la misma probabilidad de ser seleccionados. La muestra final estuvo compuesta por 188 estudiantes, 106 de género masculino y 82 femenino con una desviación estándar de 1.076 que cumplieron con los criterios de inclusión establecidos: pertenecer a la jornada matutina y estar matriculados en los niveles de Bachillerato mencionados y los estudiantes tenían que estar con salud adecuada. Por otro lado, como criterios de exclusión: Estudiantes enfermos, y apoderados de familia y estudiantes que no firmaron el consentimiento y asentimiento informado respectivo. Se obtuvo la autorización de la institución y de los padres de los estudiantes para la aplicación del instrumento.

La población de estudio evidenció un predominio del sexo masculino, representando el 56.4% de la muestra, mientras que el sexo femenino alcanzó el 43.6%. En términos de edad, los participantes se distribuyen entre los 15 y 18 años, con una mayor concentración en el grupo de 17 años (29.3%), seguido por los de 16 años (25.5%) y 15 años (25.0%), mientras que los de 18 años representan el 20.2%.

Instrumento

El instrumento principal utilizado fue un cuestionario estructurado titulado Áreas específicas del cerebro

para el aprendizaje de las matemáticas, con un Alpha de Cronbach de 0.75 fue diseñado específicamente para medir la influencia de las áreas de Brodmann en el aprendizaje matemático. Este instrumento constó de un total de 20 preguntas. Este fue estructurado por dos dimensiones las cuales se colocaron en el orden de: rendimiento emocional y cognitivo y recursos en matemáticas. Las respuestas se estructuraron en escalas de frecuencia y de nivel de impacto, proporcionando datos cuantitativos precisos y comparables.

Los datos recopilados se han clasificado y ordenado de menor a mayor porcentaje, permitiendo una mejor comprensión y análisis. Para la tabulación e interpretación de los resultados, se han considerado las categorías de respuesta Siempre, Casi siempre y A veces, que corresponden a los niveles de frecuencia Alto, Medio y Bajo, respectivamente, y reflejan los patrones de respuesta más recurrentes en la encuesta.

Análisis de resultados

Para el análisis de la información, se emplearon técnicas de estadística descriptiva e inferencial, que permitieron organizar, resumir y representar los datos recolectados. Se calcularon frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central e inferencial para identificar patrones en las respuestas de los estudiantes.

Una vez realizado este proceso, se observó que las respuestas del ítem 3 están vinculadas con las del ítem 4. Estas se dividieron conforme a las distintas características de las áreas de Brodmann, y esta agrupación de datos se llevó a cabo con el propósito de sumar los resultados de manera horizontal, obteniendo así un nuevo valor. Este valor se comparó con los resultados del ítem 6 para verificar la correcta tabulación de los ítems 3 y 4, proporcionando una perspectiva distinta y más completa. Para asegurar un análisis más preciso y objetivo, solo se consideró en los resultados finales los porcentajes más altos.

Resultados

Los resultados mostraron que las capacidades emocionales y cognitivas tienen una influencia diferenciada en el aprendizaje matemático, destacando variaciones significativas entre las áreas cerebrales

evaluadas. La regulación emocional, asociada al Área 11, se percibe con un impacto relevante, ya que el 49.5% de los estudiantes considera que esta capacidad influye de manera moderada en su rendimiento, mientras que un 35.6% indica que esta habilidad les ayuda frecuentemente. Esto resalta la importancia de la regulación emocional como un pilar en el manejo de la ansiedad y el estrés asociados con las matemáticas.

En contraste, la toma de decisiones vinculada al área 24 muestra un impacto menor. Aunque un 38.3% de los estudiantes señala que esta capacidad influye de forma moderada en su rendimiento, solo un 13.3% la utiliza de manera consistente para mejorar su aprendizaje. Esto sugiere para Mogollón & Chacín (2010) que la toma de decisiones, aunque relevante, está menos desarrollada en comparación con otras habilidades, debido a una falta de estrategias metacognitivas.

Por su parte, la memoria de trabajo y planificación, el área 46 emerge como una capacidad destacada, con un 37.8% de los estudiantes reportando un uso frecuente y un 23.9% que la percibe como consistentemente importante para su aprendizaje. Esta capacidad es crítica en tareas que requieren organizar y ejecutar múltiples pasos, como la resolución de problemas complejos. La memoria y el reconocimiento de objetos (Área 36) también muestran una relevancia moderada, con un 31.4% de los estudiantes utilizando esta habilidad de forma frecuente. Sin embargo, áreas como la integración de información sensorial y memoria semántica (Área 40) presentan un impacto menor, con solo un 42% de los estudiantes reportando un uso moderado, lo que podría limitar su capacidad para conectar conceptos abstractos con experiencias concretas.

Si bien el marco teórico contempla dieciocho áreas cerebrales vinculadas al aprendizaje matemático, la selección de las seis áreas presentadas en la Tabla 1 responde a un criterio técnico-metodológico basado en su relevancia funcional y su representatividad en las dimensiones evaluadas mediante el instrumento aplicado. Estas áreas fueron priorizadas por su implicación directa en procesos clave y su elección se fundamentó en un análisis preliminar de frecuencias y en la congruencia empírica entre los ítems del cuestionario y las funciones cognitivas mapeadas en estas regiones.

Tabla 1

Porcentajes y relación entre las áreas del cerebro y aprendizaje de las matemáticas

Regulares emociones	Porcentaje	Área 11	Porcentaje
A veces	49.5%	A veces	39.9%
Casi siempre	17.6%	Casi siempre	35.6%
Siempre	15.4%	Siempre	10.1%
Toma de decisiones		Área 24	
A veces	38.3%	A veces	38.3%
Casi siempre	32.4%	Casi siempre	35.6%
Siempre	14.4%	Siempre	13.3%
Memoria e información emocional		Área 31	
A veces	34.6%	A veces	40.4%
Casi siempre	32.4%	Casi siempre	29.8%
Siempre	11.2%	Siempre	16.5%
Memoria y reconocimiento de objetos		Área 36	
A veces	36.7%	A veces	30.9%
Casi siempre	29.8%	Casi siempre	31.4%
Siempre	16.5%	Siempre	18.1%
Integración de información sensorial y memoria semántica		Área 40	
A veces	37.2%	A veces	42%
Casi siempre	31.9%	Casi siempre	30.9%
Casi nunca	14.9%	Casi nunca	11.7%
Memoria de trabajo y planificación		Área 46	
Casi siempre	37.8%	Casi siempre	32.4%
A veces	28.2%	A veces	30.9%
Siempre	16.5%	Siempre	23.9%

Por otro lado, el segundo análisis que se presenta en la Tabla 2 muestra una síntesis de los recursos más usados por los estudiantes para estudiar matemáticas, ya que uno de los objetivos de la investigación fue describir los diferentes recursos que se han utilizado dentro de la dimensión recursos en matemáticas. Por ejemplo, el 46.8% de los estudiantes utiliza “siempre” la resolución de problemas, lo que sugiere que esta estrategia es la más efectiva y aplicada. Sin embargo, un porcentaje significativo (44.7%) indica que “nunca” utiliza mapas conceptuales, lo que puede señalar una falta de diversificación en las estrategias de aprendizaje, limitando el desarrollo de habilidades cognitivas más complejas, como la organización de información.

La preferencia por la resolución de problemas (46.8%) y la escasa utilización de mapas conceptuales (44.7% nunca los usan) sugiere que los estudiantes priorizan estrategias que les proporcionen respuestas inmediatas y claras, lo que es típico en entornos de alta presión académica. Sin embargo, esta preferencia puede estar limitando su desarrollo de habilidades más avanzadas de organización y estructuración del conocimiento.

Los mapas conceptuales son útiles para organizar ideas complejas y visualizar relaciones entre conceptos, pero su bajo uso puede indicar una falta de instrucción o énfasis en la importancia de estas herramientas cognitivas. La tendencia a enfocarse en la resolución de problemas, aunque efectiva a corto plazo, puede no fomentar el pensamiento crítico ni el análisis profundo, lo que se refleja en la limitada diversificación de recursos empleados en el estudio de las matemáticas.

Después, la tabla 3 analiza las capacidades emocionales y cognitivas de los estudiantes al enfrentar desafíos matemáticos, reflejando una influencia mayoritaria en niveles medios para la mayoría de las áreas cerebrales evaluadas. La regulación emocional e interacción social, vinculada al Área 11, muestra el impacto más destacado, con un 60.6% de los estudiantes clasificándola como moderada. Esto resalta la importancia de gestionar las emociones y establecer interacciones efectivas en situaciones que requieren atención sostenida y resolución de problemas complejos, fundamentales en el aprendizaje matemático.

Tabla 2*Recursos Aplicados en el aprendizaje de las matemáticas*

Recurso	Porcentajes	
Mapas conceptuales	Nunca	44.7%
	Casi nunca	27.7%
	A veces	17%
Simulaciones	A veces	38.3%
	Nunca	21.8%
	Casi nunca	20.7%
Resolución de problemas	Siempre	46.8%
	Casi siempre	34.6%
	A veces	12.8%
Material visual	A veces	27.7%
	Casi siempre	25.5%
	Siempre	19.7%
Discusiones y trabajos grupales	A veces	32.4%
	Casi siempre	21.3%
	Siempre	19.1%

En el caso del Área 24, relacionada con la regulación emocional y toma de decisiones, y del Área 31, asociada a la memoria e integración de información emocional, ambos registran un impacto medio del 52.1%. Estos resultados indican que los estudiantes reconocen la relevancia de estas capacidades al tomar decisiones académicas y recordar conceptos en entornos desafiantes. Sin embargo, su nivel moderado sugiere que no todos logran utilizarlas de manera óptima, lo que podría limitar su eficacia en tareas matemáticas.

La memoria y reconocimiento de objetos, representada por el Área 36, destaca por ser la única habilidad percibida con un impacto alto, alcanzando el 45.7%. Esta capacidad es esencial en actividades que involucran habilidades visoespaciales, como el reconocimiento de patrones, gráficos y objetos, especialmente en áreas como geometría y álgebra. Su impacto significativo refleja su importancia en el aprendizaje matemático, aunque también señala la necesidad de ampliar su desarrollo para todos los estudiantes.

Finalmente, las áreas 40 y 46, relacionadas con la integración de información sensorial y memoria semántica, y la memoria de trabajo y planificación, presentan impactos medios del 51.1% y 51.6%, respectivamente. Estas capacidades son fundamentales para procesar y organizar múltiples fuentes de información y para planificar tareas complejas. Sin embargo, su nivel moderado indica que muchos estudiantes no las aprovechan completamente, lo que podría estar limitando su rendimiento en problemas matemáticos avanzados.

La inclusión de las seis áreas cerebrales obedece a un criterio metodológico que priorizó aquellas regiones con mayor incidencia en las capacidades cognitivas y emocionales necesarias para enfrentar desafíos matemáticos en la educación secundaria. Estas áreas fueron seleccionadas con base en la coherencia entre sus funciones neurocognitivas y los dominios evaluados en el instrumento aplicado, así como por su relevancia empírica en los niveles de desempeño reportados.

Tabla 3*Porcentaje de capacidades cognitivas y emocionales para enfrentar desafíos*

Áreas analizadas	Porcentaje
Área 11	Medio: 60.6%
Regular emociones e interacción social	
Área 24	Medio: 52.1%
Regulación emocional y toma de decisiones	
Área 31	Medio: 52.1%
Memoria e integración de información emocional	
Área 36	Alto: 45.7%
Memoria y reconocimiento de objetos	
Área 40	Medio: 51.1%
Integración de información sensorial y memoria semántica	
Área 46	Medio: 51.6%
Memoria de trabajo y planificación	

Por último, el análisis correlacional evidenció relaciones estadísticamente significativas entre las áreas cerebrales implicadas en el aprendizaje matemático, los recursos pedagógicos empleados y el impacto emocional y cognitivo frente a desafíos académicos. La correlación más alta se encontró entre las áreas del cerebro y los recursos en matemáticas, con un coeficiente de Pearson de 0.632, lo que representa una correlación positiva moderada. Este resultado indica que la utilización de recursos pedagógicos adecuados se asocia con una mayor activación de áreas cerebrales relevantes, en especial aquellas vinculadas a la regulación emocional (área 11), la planificación (área 46) y la memoria de trabajo (área 40). No obstante, cabe aclarar que esta asociación se fundamenta en la percepción reportada por los estudiantes mediante instrumentos tipo Likert, y no en otras técnicas, las cuales serían necesarias para confirmar de forma empírica la activación neuronal durante experiencias de aprendizaje reales. Por tanto, se trata de una aproximación interpretativa basada en datos indirectos y no en medición directa de la actividad cerebral.

En cuanto a la relación entre las áreas del cerebro y el impacto emocional y cognitivo frente a desafíos matemáticos, el coeficiente obtenido fue de 0.210, lo cual refleja una correlación positiva baja. Aunque estadísticamente significativa, esta relación indica que, en contextos de alta demanda académica, las capacidades emocionales y cognitivas no se activan de manera óptima en los estudiantes, lo que podría deberse a múltiples factores no evaluados directamente, como la calidad del entorno educativo o las estrategias didácticas empleadas. Finalmente, la correlación entre los recursos en matemáticas y el impacto emocional y cognitivo fue de 0.110, sin significancia estadística ($p = 0.133$), lo que sugiere que el uso de materiales o recursos por sí solo no tiene un efecto directo sobre la gestión emocional o la capacidad cognitiva del estudiante.

Es fundamental destacar que el aprendizaje de las matemáticas es un proceso altamente complejo que no puede reducirse únicamente al uso de recursos didácticos o a la activación neuronal. Tal como lo señalan Ramírez & Rosas (2015), las experiencias educativas significativas mediadas por la calidad del desempeño docente, la motivación, la claridad metodológica, la interacción lúdica y la empatía desempeñan un papel determinante en la consolidación de aprendizajes duraderos. Estas experiencias no solo estimulan áreas específicas del cerebro, sino que también se almacenan como memorias emocionales que influyen en la disposición futura del estudiante hacia las matemáticas. Por ello, más allá de los recursos, es el componente humano del proceso educativo el que deja una huella más profunda en la arquitectura cerebral del estudiante.

Tabla 4
Análisis correlacional

Áreas del cerebro	Áreas del Recursos en Impacto Emocional y cerebro matemáticas cognitivo en desafíos		
	Correlación de 1 Pearson		
	Sig. (bilateral) .000		
Recursos en matemáticas	Correlación de .632** Pearson	1	
	Sig. (bilateral) .000		
Impacto Emocional y cognitivo en desafíos	Correlación de .210** Pearson	.110	1
	Sig. (bilateral) .004	.133	

Discusión

168

La neurociencia ha revolucionado la comprensión del aprendizaje al integrar perspectivas interdisciplinarias que conectan la psicología cognitiva, la educación y la neurología (Romero Parra et al., 2022). Este marco interdisciplinario es particularmente relevante en el aprendizaje matemático, ya que las matemáticas representan una habilidad fundamental para el desarrollo cognitivo y profesional (Amalric & Dehaene, 2016; Arsalidou & Taylor, 2011). Los avances recientes han demostrado que el cerebro humano, con su red de áreas especializadas, desempeña un papel crucial en el procesamiento matemático (Zacharopoulos et al., 2021).

Según Brodmann (1999), regiones como la corteza prefrontal, el surco angular y la corteza temporal están intrínsecamente relacionadas con habilidades como la memoria de trabajo, la planificación y la integración multisensorial, lo que resalta la importancia de diseñar estrategias educativas basadas en la neurociencia,

conceptos y resultados respaldados por el estudio deHaga clic o pulse aquí para escribir texto. Rivera-Rivera (2019) ha demostrado en su nueva visión educativa como el verdadero sentido numérico innato puede concebirse en las prácticas cognitivas y recursos aplicados.

El análisis de los resultados confirma que las áreas de Brodmann están significativamente correlacionadas con el uso de recursos pedagógicos ($r = 0.632$, $p < 0.01$). Menon (2016) respalda los hallazgos y enfatiza la interacción de circuitos cerebrales funcionales, como las áreas prefrontales dorsolaterales (46) y los circuitos parieto-frontales, destacando su papel en la memoria de trabajo y el control cognitivo, habilidades críticas para la resolución de problemas matemáticos. Esto sugiere para Mogollón & Chacín (2010) que estrategias educativas efectivas no solo apoyan el aprendizaje matemático, sino que también estimulan regiones cerebrales críticas, optimizando sus funciones cognitivas.

Por ejemplo, áreas como la 46 (memoria de trabajo y planificación) y la 11 (regulación emocional) son fundamentales en la resolución de problemas y la toma de decisiones matemáticas, habilidades esenciales para el desempeño académico (Loukas et al., 2011). Sin embargo, la correlación moderada entre las áreas cerebrales y el impacto emocional y cognitivo ($r = 0.210$, $p < 0.04$) refleja que estas capacidades no están plenamente desarrolladas, lo que podría limitar el potencial de los estudiantes frente a desafíos matemáticos complejos, por lo que, el estudio de Arcara et al. (2017) sobre la reserva cognitiva y las habilidades matemáticas, señala cómo experiencias educativas previas influyen en la capacidad de los estudiantes adolescentes para enfrentar desafíos numéricos complejos, alineándose con la importancia de integrar recursos pedagógicos que optimicen las funciones cognitivas (Grabner et al., 2015).

El modelo de aprendizaje propuesto por Gal'perin (1967) aporta una estructura valiosa para entender cómo las acciones externas se transforman en operaciones mentales a través de seis fases consecutivas. Estas etapas permiten al estudiante avanzar desde la manipulación de objetos concretos hasta el dominio de operaciones matemáticas internalizadas (Popescu et al., 2019). En este proceso, el Esquema de la Base Orientadora de la Acción (EBOA) proporciona una guía fundamental para organizar y automatizar las acciones, facilitando la transición hacia el cálculo mental fluido y sin esfuerzo consciente. Este modelo es particularmente relevante en matemáticas, donde la complejidad de los problemas exige altos niveles de automatización y abstracción (Guaypatin et al., 2021).

La investigación de Bravo (2016) destaca que las representaciones numéricas, ya sean verbales, semánticas o visoespaciales, son esenciales para comprender conceptos matemáticos. Estas representaciones están directamente influenciadas por patrones de activación cerebral observados mediante neuroimagen (Coch & Ansari, 2009). Por ejemplo, el Área 36, asociada con la memoria y el reconocimiento de objetos, tiene un impacto alto (45.7%), lo que indica su importancia en la resolución de problemas visoespaciales y la identificación de patrones matemáticos. Sin embargo, otras áreas, como la 40 (integración de información sensorial y memoria semántica), muestran un impacto moderado (51.1%), lo que sugiere que aún existe margen para fortalecer estas capacidades en los estudiantes, entrelazados según Carew & Magsamen (2010) por los circuitos

cerebrales relacionados con la memoria de trabajo y el razonamiento lógico.

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones significativas para la educación matemática al identificar las áreas del cerebro involucradas en el aprendizaje matemático, los educadores pueden desarrollar estrategias pedagógicas que aprovechen estas áreas, potenciando el aprendizaje y mejorando el desempeño académico de los estudiantes. Además, este enfoque neurocientífico puede ayudar a identificar dificultades específicas de aprendizaje y desarrollar intervenciones personalizadas (van Nes & de Lange, 2007).

La lateralización cerebral, propuesta por Sperry y Gazzaniga y recogidas por Serpa (1984), también contribuye al entendimiento del aprendizaje matemático. Aunque cada hemisferio tiene especializaciones específicas, como el pensamiento analítico en el izquierdo y el imaginativo en el derecho, investigaciones actuales subrayan que ambos hemisferios trabajan en conjunto para procesar tareas matemáticas complejas (Ramírez & Rosas, 2015). Este hallazgo refuerza la importancia de estrategias pedagógicas que estimulen tanto las habilidades analíticas como las creativas, fomentando una comprensión integral de los conceptos matemáticos.

Conclusiones

A partir del análisis realizado, se identificaron seis áreas cerebrales con un papel fundamental en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de educación secundaria. Estas regiones, correspondientes a distintas áreas de Brodmann, no solo intervienen en funciones cognitivas específicas, sino que también integran aspectos emocionales esenciales para enfrentar los desafíos propios del pensamiento matemático. El área 11, relacionada con la regulación emocional, facilita el manejo del estrés y la ansiedad durante la resolución de problemas. El área 24 interviene en la toma de decisiones en contextos de presión académica.

Por su parte, el área 31 aporta a la memoria episódica y a la integración emocional, lo que permite recuperar experiencias previas aplicables a nuevos contenidos. El área 36 se vincula con el reconocimiento de patrones visuales, especialmente útiles en la geometría y el álgebra, mientras que el área 40 se asocia con la integración de información sensorial y semántica, articulando conocimientos abstractos con vivencias concretas. Finalmente, el área 46 resulta crucial para

la memoria de trabajo y la planificación, componentes necesarios para la resolución estructurada de problemas complejos. Estos hallazgos permiten concluir que el aprendizaje matemático en la adolescencia es un proceso neurológico y emocionalmente interconectado, que requiere de enfoques pedagógicos sensibles a la forma en que el cerebro integra lo cognitivo con lo afectivo.

La evaluación de las áreas cerebrales implicadas en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de educación secundaria permitió identificar funciones específicas que intervienen en dicho proceso. Las regiones asociadas con la regulación emocional, la toma de decisiones, la memoria de trabajo, el reconocimiento de patrones y la integración de información sensorial demostraron tener un papel articulador en la forma en que los estudiantes abordan y resuelven problemas matemáticos. Los hallazgos del estudio evidencian que el aprendizaje matemático no se limita a la lógica simbólica, sino que implica una interacción compleja entre procesos emocionales y cognitivos.

Las evidencias destacan el papel crítico de las áreas cerebrales en el aprendizaje matemático y la efectividad de estrategias pedagógicas basadas en neurociencia. Sin embargo, se identifica una brecha metodológica en la investigación relacionada con una implementación limitada a un análisis correlacional de tipo descriptivo. Futuras investigaciones pueden optar por realizar análisis estadísticos como un modelo de regresión lineal que permita obtener mejores resultados en el impacto de las dimensiones del cuestionario en relación con las áreas del cerebro en el aprendizaje de las matemáticas.

170

Referencias

- Adeilton, E., Andrade, O., Aldeni, M., & De Assis, F. (2025). Neurociência e educação matemática: explorando o desenvolvimento cerebral do aluno e estratégias de ensino. *Journal of Interdisciplinary Debates*, 6(1), 10–26. <https://periodicojs.com.br/index.php/jid/article/view/2424/2368>
- Akhutina, T. V. (2002). L.S. Vigotsky y A.R. Luria: la formación de la neuropsicología 1. *Revista Española de Neuropsicología*, 4, 108–129.
- Amalric, M., & Dehaene, S. (2016). Origins of the brain networks for advanced mathematics in expert mathematicians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(18), 4909–4917. <https://doi.org/10.1073/pnas.1603205113>
- Amiripour, P., & Khodabandelou, R. (2019). The effectiveness of teaching based on educational neuroscience strategies on mathematical performance of working children. *Journal for Educators, Teachers and Trainers JETT*, 10(1), 101–109. <http://www.ugr.es/~jett/index.phphttp://www.ugr.es/~jett/index.php>
- Amran, M. S., Rahman, S., Surat, S., & Bakar, A. Y. A. (2019). Connecting neuroscience and education: Insight from neuroscience findings for better instructional learning. In *Journal for the Education of Gifted Young Scientists* (Vol. 7, Issue 2, pp. 341–352). Journal for the Education of Gifted Young Scientists. <https://doi.org/10.17478/JEGYS.559933>
- Amran, M. S., Surat, S., & Rahman, S. (2019). Emotions in Learning Mathematics and Its relationship to Memory: Insight from Neuroscience to Classroom findings Sur-Sur. *RELIGACIÓN*, 4, 210–215.
- Arcara, G., Mondini, S., Bisso, A., Palmer, K., Meneghello, F., & Semenza, C. (2017). The relationship between cognitive reserve and math abilities. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00429>
- Ardila, A., Bernal, B., & Rosselli, M. (2016). Área cerebral del lenguaje: una reconsideración funcional. *Neurol*, 62, 97–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.33588/rn.6203.2015286>
- Arsalidou, M., Pawliw-Levac, M., Sadeghi, M., & Pascual-Leone, J. (2018). Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta-analyses of fMRI studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.08.002>
- Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is 2+2=4? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage*, 54(3), 2382–2393. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.009>
- Baker, D. P., Salinas, D., & Eslinger, P. J. (2012). An envisioned bridge: Schooling as a neurocognitive developmental institution. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2011.12.001>
- Benavides-Varela, S., Burgio, F., Meneghello, F., De Marco, M., Arcara, G., Rigon, J., Pilosio, C.,

- Butterworth, B., Venneri, A., & Semenza, C. (2015). Anatomical substrates and neurocognitive predictors of daily numerical abilities in mild cognitive impairment. *Cortex*, 71, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.05.031>
- Bravo, L. (2016). El aprendizaje de las matemáticas: Psicología cognitiva y neurociencias. *Arequipa*, 7, 11–29. https://www.researchgate.net/profile/Luis-Bravo-4/publication/313694592_-Neurociencias-Matematicas11/links/58a3186f45851513c5fdd19/Neurociencias-Matematicas11.pdf
- Brodmann, K. (1999). *Brodmann's 'Localisation In The Cerebral Cortex*. Imperial College Press.
- Bullón, I. (2017). La neurociencia en el ámbito educativo. *Revista Internacional de Apoyo a La Inclusión, Logopedia, Sociedad y Multiculturalidad*, 3(1), 118–135. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=574660901005>
- Cantillo-Rudas, B. M., Rodríguez-Nieto, C. A., Moll, V. F., & Rodríguez-Vásquez, F. M. (2024). Mathematical and neuro-mathematical connections activated by a teacher and his student in the geometric problems-solving: A view of networking of theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 20(10). <https://doi.org/10.29333/ejmste/15470>
- Carew, T. J., & Magsamen, S. H. (2010). Neuroscience and Education: An Ideal Partnership for Producing Evidence-Based Solutions to Guide 21st Century Learning. In *Neuron* (Vol. 67, Issue 5, pp. 685–688). <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.028>
- Coch, D., & Ansari, D. (2009). Thinking about mechanisms is crucial to connecting neuroscience and education. In *Cortex* (Vol. 45, Issue 4, pp. 546–547). Masson SpA. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.06.001>
- Dundar, S., & Ayvaz, U. (2016). From Cognitive to Educational Neuroscience. *International Education Studies*, 9(9), 50. <https://doi.org/10.5539/ies.v9n9p50>
- Febrialismanto, F., & Haryanto, H. (2023). International Journal of Neuroscience-Based Learning in Schools: A Bibliometric Analysis. *Proceedings Series on Social Sciences & Humanities*, 12, 255–262. <https://doi.org/10.30595/pssh.v12i.802>
- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., Son, J. Y., & Goldstone, R. L. (2014). Concreteness Fading in Mathematics and Science Instruction: A Systematic Review. In *Educational Psychology Review* (Vol. 26, Issue 1, pp. 9–25). Springer Science and Business Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/s10648-014-9249-3>
- Gal'perin, P. Ya. (1967). On the Notion of Internalization. *Soviet Psychology*, 5(3), 28–33. <https://doi.org/10.2753/rpo1061-0405050328>
- Grabner, R. H., Rüttsche, B., Ruff, C. C., & Hauser, T. U. (2015). Transcranial direct current stimulation of the posterior parietal cortex modulates arithmetic learning. *European Journal of Neuroscience*, 42(1), 1667–1674. <https://doi.org/10.1111/ejn.12947>
- Guaypatin, O., Fauta, S., Gálvez, X., & Montaluis, D. (2021). La influencia de las matemáticas en el desarrollo del pensamiento. *Boletín Redipe*, 10(7), 106–112.
- Lagarda, A., Barceló, J. G., & Novela, G. (2016). Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. *Revista de Métodos Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, 24, 129–146. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233154079004>
- Liu, C. J., & Huang, C. F. (2016). Innovative science educational neuroscience: Strategies for engaging brain waves in science education research. In *Science Education Research and Practices in Taiwan: Challenges and Opportunities* (pp. 233–247). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-287-472-6_12
- Loukas, M., Pennell, C., Groat, C., Tubbs, R. S., & Cohen-Gadol, A. A. (2011). Korbinian Brodmann (1868-1918) and his contributions to mapping the cerebral cortex. *Neurosurgery*, 68(1), 6–11. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181fc5cac>
- Luria, A. R., & Xomskaya, E. (2002). La escuela neuropsicológica de Luria's neuropsychological school. *Revista Española de Neuropsicología*, 4.
- Menon, V. (2016). Memory and cognitive control circuits in mathematical cognition and learning. In *Progress in Brain Research* (Vol. 227, pp. 159–186). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.026>

- Moeller, K., Willmes, K., & Klein, E. (2015). A review on functional and structural brain connectivity in numerical cognition. In *Frontiers in Human Neuroscience* (Vol. 9, Issue MAY). Frontiers Media S. A. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00227>
- Mogollón, E. (2010). Aportes de las neurociencias para el desarrollo de estrategias de enseñanza y aprendizaje de las Matemáticas. *Revista Electrónica Educare*, 14(2), 113–124. <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194115606009.pdf>.
- Mohammad, N. (2000). *Metodología de la investigación*. Editorial Limusa. México.
- Popescu, T., Sader, E., Schaer, M., Thomas, A., Terhune, D. B., Dowker, A., Mars, R. B., & Cohen Kadosh, R. (2019). The brain-structural correlates of mathematical expertise. *Cortex*, 114, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.10.009>
- Procopio, M., Fernández-Cézar, R., Fernandes-Procopio, L., & Yáñez-Araque, B. (2024). Neuroscience-Based Information and Communication Technologies Development in Elementary School Mathematics through Games: A Case Study Evaluation. *Education Sciences*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/educsci14030213>
- Radford, L., & André, M. (2009). Cerebro, cognición y matemáticas. *Revista Latinoamericana de Investigación En Matemática Educativa*, 12(2), 215–250. <https://www.scielo.org.mx/pdf/relime/v12n2/v12n2a4.pdf>
- Ramírez, Y. del V., & Rosas, D. (2015). Aplicación de la teoría de estilos de aprendizaje al diseño de contenidos didácticos en entornos virtuales. *Etic@net. Revista Científica Electrónica de Educación y Comunicación En La Sociedad Del Conocimiento*, 14(2), 176–197. <https://doi.org/10.30827/eticanet.v14i2.11975>
- Rivera, L. D. (2024). Las bases sistémico-funcionales del proceso de aprendizaje en el modelo de P. Galperin y sus implicaciones en la teoría neuropsicológica de A.R Luria. *DIVULGARE Boletín Científico de La Escuela Superior de Actopan*, 11(22), 22–36. <https://doi.org/10.29057/esa.v11i22.12232>
- Rivera-Rivera, E. (2019). El neuroaprendizaje en la enseñanza de las matemáticas: la nueva propuesta educativa. *Entorno*, 67, 157–168. <https://doi.org/10.5377/entorno.v0i67.7498>
- Romero Parra, R. M., Barboza Arenas, L. A., Espina-Romero, L. C., Garcés Rosendo, E. J., & Rodríguez Ángeles, C. H. (2022). Effects of a Neuroscience-Based Instructional Guide on College Student Learning. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 21(2), 33–48. <https://doi.org/10.26803/ijlter.21.2.3>
- Roque Herrera, Y., Ángel, P., Moral, V., Santiago, I. I., García, A., María, I., Zagalaz, L., & Iv, S. (2018). Metacognition and autonomous learning in higher Education. In *Educación Médica Superior* (Vol. 32, Issue 4).
- Serpa, R. (1984). Lateralidad cerebral y enfermedad mental. *Revista Medicina*, 6(2), 19–22. <https://revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/9-3/1305>
- Silva, G. D., Fonseca, L. S. da, Garcia, R. V., & Romão, E. C. (2022). Contributions of Cognitive Neuroscience on Mathematical Learning as a Tool for Elementary School Teachers. *Journal of Studies in Education*, 12(4), 43. <https://doi.org/10.5296/jse.v12i4.20208>
- van Nes, F., & de Lange, J. (2007). Mathematics Education and Neurosciences: Relating Spatial Structures to the Development of Spatial Sense and Number Sense. *The Mathematics Enthusiast*, 4(2), 210–229. <https://doi.org/10.54870/1551-3440.1072>
- Zacharopoulos, G., Sella, F., & Kadosh, R. C. (2021). The impact of a lack of mathematical education on brain development and future attainment. *Biological Sciences*, 118(24). <https://doi.org/10.1073/pnas.2013155118/-/DCSupplemental>