

# RICESO

Revista Interdisciplinaria de Ciencias de la Educación,  
Salud y Sociología

Volumen 1 • Número 1

## Estrategias Neurodidácticas para el Aprendizaje del Álgebra y Funciones: Un Estudio Cuasiexperimental Longitudinal en Décimo Grado



**Elian Jamil Hernández Cueva 1**



**Lisbeth Alexandra Zúñiga Montaña 2**

**Susana Belèn Muñoz Bravo 3**



**lisbeth.zuniga@unl.edu.ec**

**Monica Yolanda Jimenez Flores 4**



**susana.munoz@unl.edu.ec**

**Yajaira Maribel Pinta Herrera 5**



**monica.y.jimenez@unl.edu.ec**

**Karen Rosibel Ramirez Veintimilla 6**



**karen.ramirez@unl.edu.ec**

Universidad Nacional de Loja, Ecuador







<https://doi.org/10.66136/cfy52227>

## Estrategias Neurodidácticas para el Aprendizaje del Álgebra y Funciones: Un Estudio Cuasiexperimental Longitudinal en Décimo Grado

### Resumen:

El bajo rendimiento en álgebra y funciones matemáticas en el subnivel Superior de Educación General Básica del Ecuador constituye un problema persistente cuyas raíces combinan déficit metodológico e inhibición afectiva ante la disciplina. Este estudio evaluó el efecto de un programa de estrategias neurodidácticas sobre el rendimiento algebraico de estudiantes de décimo grado mediante un diseño cuasiexperimental con grupos control y experimental, con medidas longitudinales durante ocho meses. La muestra estuvo conformada por 86 estudiantes —grupo experimental:  $n = 44$ ; grupo control:  $n = 42$ — de la Unidad Educativa Particular José Antonio Eguiguren - La Salle, Loja, Ecuador. Se aplicó una prueba de rendimiento de 30 ítems validada por juicio de expertos ( $CVI = .91$ ,  $\alpha = .87$ ) y estructurada en tres dimensiones: manipulación algebraica, análisis de funciones y modelización contextual. El análisis principal mediante ANCOVA, con el pretest como covariable, reveló diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo experimental ( $F(1, 83) = 47.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2p = .363$ ,  $d = 1.48$ ). El modelo lineal mixto aplicado sobre los cuatro puntos de medición confirmó una trayectoria de crecimiento diferencial significativa ( $F(3, 250) = 18.74$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2p = .184$ ), con aceleración progresiva en el grupo experimental a partir del tercer mes. Los resultados indican que la integración de estrategias neurodidácticas multicomponente produce ganancias algebraicas de magnitud grande, con implicaciones directas para la renovación metodológica de la enseñanza de las matemáticas en el subnivel Superior de Educación General Básica del Ecuador.

**Palabras clave:** *neurodidáctica; rendimiento algebraico; diseño cuasiexperimental; ansiedad matemática; neuroeducación.*

	Elian Jamil Hernández Cueva <sup>1</sup> Lisbeth Alexandra Zuñiga Montaña <sup>2</sup> Susana Belén Muñoz Bravo <sup>3</sup> Monica Yolanda Jimenez Flores <sup>4</sup> Yajaira Maribel Pinta Herrera <sup>5</sup> Karen Rosibel Ramírez Veintimilla <sup>6</sup>
	Autor 1: <a href="https://orcid.org/0009-0000-1007-9929">https://orcid.org/0009-0000-1007-9929</a> Autor 2: <a href="https://orcid.org/0009-0009-5428-1761">https://orcid.org/0009-0009-5428-1761</a> Autor 3: <a href="https://orcid.org/0009-0005-4998-5773">https://orcid.org/0009-0005-4998-5773</a> Autor 4: <a href="https://orcid.org/0009-0003-6970-8074">https://orcid.org/0009-0003-6970-8074</a> Autor 5: <a href="https://orcid.org/0009-0001-8560-4270">https://orcid.org/0009-0001-8560-4270</a> Autor 6: <a href="https://orcid.org/0009-0007-2586-7670">https://orcid.org/0009-0007-2586-7670</a>
	Autor 1: <a href="mailto:elian.hernandez@unl.edu.ec">elian.hernandez@unl.edu.ec</a> Autor 2: <a href="mailto:lisbeth.zuniga@unl.edu.ec">lisbeth.zuniga@unl.edu.ec</a> Autor 3: <a href="mailto:susana.munoz@unl.edu.ec">susana.munoz@unl.edu.ec</a> Autor 4: <a href="mailto:monica.y.jimenez@unl.edu.ec">monica.y.jimenez@unl.edu.ec</a> Autor 5: <a href="mailto:yajaira.pinta@unl.edu.ec">yajaira.pinta@unl.edu.ec</a> Autor 6: <a href="mailto:karen.ramirez@unl.edu.ec">karen.ramirez@unl.edu.ec</a>
	Universidad Nacional de Loja
	Ecuador
	<a href="https://doi.org/10.66136/cfy52227">https://doi.org/10.66136/cfy52227</a>

Received: 01/02/2026

Accepted: 10/02/2026

Published 03/03/2026

Revista Interdisciplinaria de Ciencias de la Educación, Salud y Sociología  
<https://www.riceso.org>

[editor@riceso.org](mailto:editor@riceso.org)

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



## Neurodidactic Strategies for Learning Algebra and Mathematical Functions: A Longitudinal Quasi-Experimental Study in Tenth Grade

### Abstract

Low achievement in algebra and mathematical functions at the Superior subnivel of Educación General Básica in Ecuador constitutes a persistent problem rooted in methodological deficits and affective inhibition toward the discipline. This study evaluated the effect of a multicomponent neurodidactic program on algebraic performance among tenth-grade students, using a quasi-experimental design with non-equivalent control and experimental groups over an eight-month longitudinal period. The sample comprised 86 students (experimental group:  $n = 44$ ; control group:  $n = 42$ ) from Unidad Educativa Particular José Antonio Eguiguren - La Salle, Loja, Ecuador. A 30-item achievement test validated by expert judgment ( $CVI = .91$ ,  $\alpha = .87$ ) was administered, covering three dimensions: algebraic manipulation, function analysis, and contextual modelling. The primary ANCOVA, with the pretest as covariate, revealed statistically significant differences favouring the experimental group ( $F(1, 83) = 47.32$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .363$ ,  $d = 1.48$ ). A linear mixed model applied across four measurement points confirmed a significant differential growth trajectory ( $F(3, 250) = 18.74$ ,  $p < .001$ , partial  $\eta^2 = .184$ ), with progressive acceleration in the experimental group from the third month onward. Findings indicate that multicomponent neurodidactic strategies produce large-magnitude algebraic learning gains, with direct implications for methodological renewal in mathematics instruction at this educational level.

**Keywords:** *neurodidactics; algebraic achievement; quasi-experimental design; mathematics anxiety; neuroeducation.*

Hernández Cueva, E. J., Zuñiga Montaña, L. A., Muñoz Bravo, S. B., Jimenez Flores, M. Y., Pinta Herrera, Y. M., & Ramírez Veintimilla, K. R. (2026). Estrategias neurodidácticas para el aprendizaje del álgebra y funciones: Un estudio cuasiexperimental longitudinal en décimo grado. *Revista Interdisciplinaria de Ciencias de la Educación, Salud y Sociología (RICESO)*, 1(1). <https://doi.org/10.66136/cfy52227>

## Introducción

El rendimiento matemático deficiente constituye uno de los problemas más documentados en los sistemas educativos de América Latina. Los datos del *Programme for International Student Assessment 2022* indican que, en varios países de la región, más del sesenta por ciento de los estudiantes evaluados a los quince años no alcanza el nivel 2 de competencia matemática —el umbral mínimo que la OCDE define como condición para la participación funcional en la sociedad del conocimiento (OECD, 2023). Ecuador exhibe una situación análoga: las evaluaciones del Instituto Nacional de Evaluación Educativa registran de manera consistente que el área de matemáticas acumula los promedios más bajos del currículo en el subnivel Superior de Educación General Básica. Este déficit, con todo, no responde únicamente a carencias en el dominio conceptual. La investigación de las últimas dos décadas ha establecido con solidez que la ansiedad matemática —la aprensión o el temor específico ante tareas que implican números y razonamiento cuantitativo— opera como una barrera afectiva que suprime la memoria de trabajo e interfiere con el desempeño incluso en estudiantes con capacidad cognitiva suficiente. Metaanálisis de gran escala sintetizados sobre más de novecientos mil participantes estiman la correlación negativa entre ansiedad y rendimiento matemático en  $r = -.28$  (Barroso et al., 2021; Caviola et al., 2022), magnitud que justifica tratarla como variable de intervención prioritaria y no como un efecto secundario inevitable del aprendizaje.

Dentro del currículo del subnivel Superior de Educación General Básica, el álgebra y las funciones matemáticas concentran una proporción desproporcionada de esas dificultades. La razón no es arbitraria. Aprender álgebra no equivale a memorizar procedimientos: demanda construir estructuras relacionales abstractas, traducir situaciones del mundo concreto a lenguaje simbólico y leer representaciones gráficas como expresiones de relaciones funcionales. Cuando la enseñanza se limita a la presentación de algoritmos y a la ejercitación mecánica, el estudiante aprende a manipular símbolos sin haber comprendido su referente conceptual. El resultado es un conocimiento operativamente funcional pero estructuralmente frágil: se desactiva ante tareas de transferencia, se erosiona rápidamente sin práctica continuada y deja al estudiante sin herramientas para abordar contenidos de mayor complejidad (Thomas et al., 2025). Las consecuencias se extienden más allá del rendimiento

inmediato: quienes no consolidan los fundamentos algebraicos en décimo grado enfrentan obstáculos acumulativos para acceder al cálculo diferencial en el bachillerato y, en un horizonte más amplio, ven comprometidas sus posibilidades de incorporarse a trayectorias formativas en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (Caballero y Llorent, 2022).

La neurodidáctica se ha consolidado en las últimas dos décadas como la disciplina que intenta tender un puente riguroso entre la evidencia neurocientífica y la práctica pedagógica. Su objeto es identificar los mecanismos cerebrales que subyacen al aprendizaje —plasticidad sináptica, señalización dopaminérgica, codificación en la memoria a largo plazo, participación del sistema límbico— y derivar de ellos principios instruccionales aplicables en el aula ordinaria. Sus raíces intelectuales se ubican en los trabajos de Hart (1981), quien propuso que los entornos educativos deben respetar los procesos naturales del cerebro en lugar de contradecirlos, y en la sistematización posterior de Caine y Caine (1990), que tradujo ese principio en un modelo operativo de aprendizaje cerebral con implicaciones directas para el diseño curricular. Desde entonces, la neurodidáctica ha madurado metodológicamente hasta producir estudios de intervención en contextos escolares formales cuyos diseños responden a estándares de rigor comparables a los de otras ramas de la investigación educativa aplicada (Hernández et al., 2026; Hernández et al., 2024). Su premisa central es que el conocimiento no se transfiere: se construye. Y esa construcción requiere activar de manera sostenida la memoria a largo plazo a través de la implicación emocional, la motivación intrínseca y la elaboración activa del material por parte del aprendiz.

La evidencia empírica sobre intervenciones neurodidácticas en educación secundaria ha crecido de forma notable, aunque con una distribución geográfica aún desequilibrada. Caballero y Llorent (2022) realizaron un estudio cuasiexperimental de dos años con 209 estudiantes de educación secundaria en España y documentaron que un programa de formación docente en neuroeducación producía mejoras estadísticamente significativas en competencia matemática y en desarrollo socioemocional del alumnado. Sousa y Tomlinson (2018) habían sistematizado, por su parte, los principios del aprendizaje cerebral en un marco pedagógico operativo que identifica la novedad, el movimiento físico, la narrativa y la retroalimentación inmediata como activadores privilegiados de los circuitos neurales implicados en la consolidación del aprendizaje. La síntesis cuantitativa más reciente sobre

instrucción metacognitiva en matemáticas —área directamente relacionada con los principios neurodidácticos de monitoreo y autorregulación— sintetizó 43 estudios con 13.924 participantes y estimó un tamaño del efecto de  $ES = 1.11$  (Hidayat et al., 2025), magnitud que se ubica en el tercio superior de las intervenciones educativas catalogadas por la literatura especializada. Pese a este acervo, los diseños con muestras latinoamericanas, focalizados en el nivel de décimo grado y con contenidos específicos de álgebra y funciones, permanecen escasos, lo que delimita el vacío empírico al que este estudio responde.

El contexto ecuatoriano introduce variables que agravan la situación descrita y justifican una intervención específicamente diseñada para él. Villamizar et al. (2020) identificaron, en una muestra de estudiantes de educación media del Ecuador, que la ansiedad matemática se presentaba como un factor potenciador del bajo rendimiento, interactuando con metodologías de enseñanza predominantemente transmisivas que ofrecían escaso margen para la elaboración activa del conocimiento. Esta convergencia —ansiedad matemática elevada más instrucción pasiva— produce una retroalimentación negativa: el estudiante que fracasa repetidamente bajo condiciones de alta amenaza afectiva desarrolla una aversión estable hacia la asignatura que resiste intervenciones superficiales (Ashcraft, 2002). Revertir ese ciclo exige actuar de manera simultánea sobre el componente cognitivo —los mecanismos de procesamiento algebraico— y sobre el componente afectivo que los inhibe. Una intervención neurodidáctica bien diseñada opera en ambas dimensiones: proporciona experiencias de aprendizaje que reducen la carga emocional negativa al tiempo que activan los procesos de consolidación y transferencia que la instrucción convencional no logra movilizar.

El presente estudio descansa sobre un andamiaje teórico de tres niveles. El primero es la teoría del aprendizaje cerebral de Caine y Caine (1990), cuyo modelo postula que la enseñanza eficaz produce simultáneamente tres estados: alerta relajada —que libera la capacidad atencional del bloqueo producido por el estrés—, inmersión en experiencias de aprendizaje complejas y auténticas, y procesamiento activo que permite al estudiante extraer significado de lo que ha vivenciado. El segundo nivel es el modelo de neuroplasticidad educativa, que sostiene que la exposición reiterada a experiencias de aprendizaje emocionalmente significativas genera cambios estructurales en las redes neuronales vinculadas al procesamiento matemático,

haciendo de la práctica pedagógica un agente de modificación cerebral medible (Pradeep et al., 2024). El tercer nivel es la teoría de la codificación dual de Paivio, según la cual la combinación de representaciones verbales y no verbales durante la instrucción activa simultáneamente los sistemas de procesamiento verbal e icónico, potenciando tanto la retención como la transferencia del aprendizaje. La articulación explícita de estos tres marcos en el diseño de las estrategias implementadas no es un requisito formal: las revisiones de mayor rigor metodológico muestran que la solidez del fundamento teórico es uno de los predictores más robustos del tamaño del efecto en los estudios de intervención educativa (Fukaya et al., 2024).

Los antecedentes del presente trabajo proceden de tres líneas de investigación cuyos hallazgos, articulados, definen con exactitud el nicho que este estudio ocupa. La primera reúne los estudios de neuroeducación aplicada en educación secundaria: entre ellos, Caballero y Llorent (2022) constituye el referente más cercano por su diseño cuasiexperimental y su foco en competencia matemática, aunque no controla estadísticamente las diferencias de línea de base entre grupos ni especifica el dominio algebraico como variable de resultado. La segunda línea comprende la investigación sobre enseñanza activa del álgebra, que ha documentado tamaños del efecto de moderados a grandes al incorporar práctica intercalada, visualización dinámica y resolución de problemas abiertos (Rohrer et al., 2020). La tercera agrupa los estudios sobre reducción de la ansiedad matemática en el aula; la síntesis más reciente de esta línea muestra que la retroalimentación positiva inmediata y los entornos de baja amenaza producen mejoras significativas tanto en el plano afectivo como en el académico (Pizzie et al., 2023). Ninguna de estas tres líneas ha integrado, en un mismo diseño, un programa neurodidáctico estructurado para álgebra y funciones, con seguimiento longitudinal de ocho meses, con control estadístico de la línea de base y en el contexto del sistema educativo ecuatoriano. Esa integración constituye la contribución específica de este trabajo.

Con base en este marco, la hipótesis general del estudio es la siguiente: la aplicación sistemática de un programa de estrategias neurodidácticas durante ocho meses produce una mejora estadísticamente significativa y con tamaño del efecto grande ( $d > 0.80$ ) en el rendimiento en álgebra y funciones matemáticas de los estudiantes de décimo grado del

grupo experimental, respecto del grupo control que recibe instrucción convencional, una vez controladas las diferencias de línea de base mediante análisis de covarianza. El objetivo general del trabajo es determinar el efecto del programa sobre el aprendizaje del álgebra y las funciones matemáticas en estudiantes de décimo grado de la Unidad Educativa Particular José Antonio Eguiguren - La Salle de Loja, Ecuador, durante el año lectivo 2024-2025. Los objetivos específicos son: (a) verificar la equivalencia estadística entre los grupos experimental y control al inicio de la intervención; (b) comparar el desempeño posttest entre grupos mediante ANCOVA con el pretest como covariable; (c) calcular el tamaño del efecto de la intervención con intervalos de confianza al 95 %; y (d) describir la trayectoria longitudinal del rendimiento algebraico en ambos grupos durante los ocho meses de seguimiento.

## Metodología

### Enfoque, tipo y alcance de la investigación

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, dado que la recolección y el análisis de los datos se sustentaron en la medición numérica de las variables y en el tratamiento estadístico de sus relaciones, con arreglo a procedimientos que permiten contrastar hipótesis y estimar magnitudes de efecto con precisión inferencial (Creswell y Creswell, 2023). El alcance es de tipo explicativo aplicado: explicativo porque se propone determinar relaciones causales entre la intervención neurodidáctica y el rendimiento algebraico, superando la mera descripción de covariaciones; aplicado porque su finalidad es contribuir a la resolución de un problema educativo concreto y documentado en el contexto ecuatoriano (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Esta caracterización sitúa el trabajo dentro del paradigma pospositivista, que asume la existencia de una realidad cognoscible, pero reconoce que toda aproximación a ella está mediada por las limitaciones del método y de quien investiga.

### Diseño de investigación

El diseño seleccionado fue cuasiexperimental con grupo control no equivalente, modalidad pretest-posttest. En la taxonomía de Campbell y Stanley (1966), este esquema corresponde al Diseño 10, caracterizado por la asignación no aleatoria de los participantes a las condiciones y por la aplicación de medidas antes y después de la intervención. La decisión de optar por el diseño cuasiexperimental en lugar del experimental puro obedeció a una restricción

organizativa propia del contexto escolar formal: desagregar los grupos-clase preexistentes para asignar aleatoriamente a los estudiantes habría requerido la disolución de los paralelos institucionales, lo que resultaba inviable tanto logística como éticamente. Esta limitación, reconocida ampliamente en la literatura sobre investigación educativa aplicada, se atenuó mediante el empleo del ANCOVA con el pretest como covariable, estrategia que controla estadísticamente las diferencias de línea de base y permite estimar el efecto neto de la intervención con mayor precisión que el análisis simple de diferencias posttest (Cohen, 1988). El horizonte temporal de ocho meses añadió al diseño una dimensión longitudinal que posibilitó examinar la trayectoria del aprendizaje y valorar la estabilidad de los efectos observados.

### **Estructura temporal**

La estructura temporal del estudio comprendió cuatro puntos de medición: el pretest inicial (T1, mes 0), una evaluación de seguimiento al tercer mes (T2), otra al sexto mes (T3) y el posttest final al término del octavo mes (T4). Este diseño de cuatro mediciones permitió examinar la trayectoria de cambio, detectar posibles curvaturas en el patrón de aprendizaje y estimar pendientes de crecimiento individuales por grupo, capacidades analíticas que los diseños de solo dos puntos temporales no pueden ofrecer. La implementación se desarrolló durante el año lectivo 2024-2025 de la institución, lo que garantizó que la intervención transcurriera en condiciones ecológicamente representativas de la práctica pedagógica habitual y no en un entorno artificial.

### **Población, muestra y asignación a los grupos**

La población objetivo estuvo conformada por la totalidad de estudiantes matriculados en décimo grado —subnivel Superior de Educación General Básica— de la Unidad Educativa Particular José Antonio Eguiguren - La Salle, institución confesional de sostenimiento particular ubicada en el área urbana de Loja, Ecuador. La institución atiende a una población de clase media y media-alta, con indicadores de asistencia escolar superiores al 95 % en el período de referencia, condición que redujo la mortalidad experimental como amenaza a la validez interna. Los cuatro paralelos del décimo grado (A, B, C y D) totalizaron  $N = 86$  estudiantes. Los paralelos A y C ( $n = 44$ ) conformaron el grupo experimental y los paralelos B y D ( $n = 42$ ) constituyeron el grupo control, asignación determinada por el criterio de

[Revista Interdisciplinaria de Ciencias de la Educación, Salud y Sociología | Vol. 01 | Núm. 01 | Ene-Abril | 2026 | <https://www.riceso.org> ISSN: 3117-2660.](https://www.riceso.org)

disponibilidad institucional y verificada estadísticamente antes de la intervención. La prueba *t* de Student para muestras independientes aplicada sobre las puntuaciones del pretest confirmó la equivalencia basal de los grupos ( $t(84) = 0.73, p = .469$ ), satisfaciendo el supuesto de comparabilidad inicial que el ANCOVA requiere para una interpretación válida de sus resultados.

### **Criterios de inclusión y exclusión**

Los criterios de inclusión fueron: estar matriculado en décimo grado durante el ciclo lectivo 2024-2025, registrar una asistencia igual o superior al 80 % de las sesiones de clase, haber completado el pretest y el postest, y contar con la autorización del representante legal mediante la firma del consentimiento informado. Se excluyeron los estudiantes con necesidades educativas especiales que requiriesen adaptaciones curriculares significativas, quienes presentaran diagnóstico certificado de discalculia y aquellos que no completaron al menos dos de las cuatro mediciones longitudinales. La aplicación de estos criterios no generó exclusiones que alteraran sustancialmente la distribución de los grupos, ya que ningún participante reunió simultáneamente varios criterios de exclusión.

### **Instrumento de medición**

El instrumento de medición fue una prueba de rendimiento en álgebra y funciones matemáticas elaborada ad hoc y validada por juicio de expertos. Constó de 30 ítems distribuidos en tres dimensiones: (a) representación y manipulación algebraica (10 ítems), (b) análisis y graficación de funciones lineales y cuadráticas (12 ítems) y (c) modelización algebraica de situaciones contextuales (8 ítems). La validez de contenido se estableció mediante el índice de validez de contenido de Lawshe con la valoración de cinco jueces expertos en didáctica de la matemática, obteniendo un CVI global de .91, valor que supera el umbral mínimo de .78 recomendado para paneles de este tamaño. La confiabilidad se estimó con el coeficiente alfa de Cronbach sobre los datos del pretest ( $\alpha = .87$ ); siguiendo las advertencias de Zakariya (2022), se reconoce que un alfa elevado no garantiza unidimensionalidad, razón por la cual se realizó un análisis factorial confirmatorio cuyo modelo trifactorial obtuvo índices de ajuste satisfactorios ( $CFI = .96, RMSEA = .048$ ), respaldando la estructura dimensional propuesta.

### Descripción de la intervención neurodidáctica

La intervención neurodidáctica aplicada al grupo experimental consistió en un programa de 32 sesiones de 50 minutos, distribuidas durante los ocho meses del estudio a razón de una sesión semanal, complementada con tareas de consolidación fuera del aula. El programa articuló seis estrategias seleccionadas con base en la evidencia empírica disponible: (a) aprendizaje mediante narrativa matemática, que activa la codificación emocional y la memoria episódica; (b) mapas mentales con representación visual-espacial del álgebra, sustentados en los principios de la codificación dual de Paivio; (c) secuencias de movimiento corporal vinculadas a conceptos algebraicos, coherentes con los hallazgos sobre cognición encarnada (Castro-Alonso et al., 2024); (d) pausas de reflexión metacognitiva estructuradas al inicio y al cierre de cada sesión; (e) retroalimentación inmediata y contingente, diseñada para activar el sistema dopaminérgico de recompensa; y (f) consolidación mediante práctica intercalada (interleaving), que alterna distintos tipos de funciones dentro de la misma sesión para potenciar la discriminación conceptual (Rohrer et al., 2020). El grupo control recibió la instrucción algebraica convencional planificada por el departamento de matemáticas de la institución, basada en exposición directa, ejercitación algorítmica y evaluación sumativa estándar.

### Plan de análisis estadístico

El procedimiento estadístico principal fue el Análisis de Covarianza (ANCOVA) univariado, con las puntuaciones del postest como variable dependiente, el grupo (experimental vs. control) como factor fijo y las puntuaciones del pretest como covariable continua. Previo a la ejecución del ANCOVA se verificaron los supuestos paramétricos: normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene y homogeneidad de las pendientes de regresión mediante la prueba de interacción grupo  $\times$  covariable, cuya no significación ( $p = .312$ ) confirmó la pertinencia del modelo. El tamaño del efecto se reportó con el eta cuadrado parcial ( $\eta^2p$ ) siguiendo las convenciones de Cohen (1988): pequeño ( $\eta^2p = .01$ ), mediano ( $\eta^2p = .06$ ) y grande ( $\eta^2p = .14$ ). De manera complementaria, se calculó la  $d$  de Cohen mediante el procedimiento de Lakens (2013) — $d = \sqrt{F \times (1/n_1 + 1/n_2)}$ — para facilitar la comparación con estudios de metaanálisis, y se construyeron intervalos de confianza al 95 % mediante bootstrap con 5 000 repeticiones

(Hedges y Olkin, 1985). Para el análisis longitudinal de los cuatro puntos de medición se empleó un modelo lineal de efectos mixtos (LMM) con estructura de covarianza autorregresiva de primer orden AR(1), dado que la dependencia temporal entre las mediciones hacía inadecuado el ANOVA de medidas repetidas clásico. Todos los análisis se ejecutaron con SPSS 29.0 y R 4.3.2, utilizando los paquetes lme4 y emmeans.

### Consideraciones éticas

El estudio se ajustó a los principios de la Declaración de Helsinki y a los lineamientos del Código de Ética en Investigación del Ministerio de Educación del Ecuador. Las autoridades de la Unidad Educativa Particular José Antonio Eguiguren - La Salle otorgaron su aprobación institucional mediante acta firmada con fecha previa al inicio de la recolección de datos. Los representantes legales de todos los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado que detallaba los objetivos del estudio, los procedimientos, los posibles beneficios y el derecho irrestricto a retirar la participación sin consecuencia académica. Los estudiantes mayores de catorce años, adicionalmente, suscribieron un asentimiento informado conforme a la Ley Orgánica de Protección Integral al Niño, Niña y Adolescente (LOPINA) vigente en Ecuador. La información recolectada se anonimizó mediante codificación alfanumérica, y los datos originales se almacenaron en un servidor de acceso restringido al equipo de investigación durante un período mínimo de cinco años, en cumplimiento de las normativas institucionales de gestión de datos de investigación.

### Limitaciones del diseño

Las limitaciones del diseño deben declararse con precisión para que el lector pueda evaluar el alcance de las inferencias. Primera: la ausencia de aleatorización implica que no pueden descartarse completamente los efectos de selección como explicación alternativa de los resultados; el control estadístico mediante ANCOVA y la verificación de equivalencia basal reducen este riesgo, aunque no lo eliminan (Campbell y Stanley, 1966). Segunda: el efecto Hawthorne no puede ser controlado de forma experimental en un diseño de aula; con todo, la duración de ocho meses de la intervención hace menos plausible su influencia sostenida, pues los efectos de novedad tienden a atenuarse en las primeras semanas. Tercera: la pertenencia de los grupos experimental y control al mismo centro educativo genera un riesgo potencial de difusión del tratamiento —que los estudiantes del grupo control pudieran haber

estado expuestos informalmente a elementos de la intervención mediante el contacto con sus compañeros—; aunque no se registraron indicios de contaminación durante el seguimiento, este riesgo no puede descartarse en ausencia de evidencia directa. Cuarta: el instrumento de evaluación fue administrado por el equipo investigador, sin cegamiento respecto a la condición de los participantes; futuras investigaciones deberían incorporar evaluadores independientes para eliminar el sesgo del administrador. Quinta: la restricción de la muestra a una sola institución educativa particular de nivel socioeconómico medio-alto limita la generalización de los hallazgos a contextos con características similares.

## Resultados

Los resultados se presentan en cuatro bloques que corresponden directamente a los objetivos específicos del estudio. El primero verifica la equivalencia basal de los grupos. El segundo expone los hallazgos del ANCOVA principal con sus estimaciones de efecto e intervalos de confianza al 95 %. El tercero describe la trayectoria longitudinal del rendimiento algebraico. El cuarto desagrega los efectos por dimensión del instrumento. Los valores numéricos se exponen en tablas y los patrones de evolución se describen en el texto, evitando la duplicación de datos en ambos formatos, conforme a las directrices de publicación de la American Psychological Association (APA, 2020).

### Verificación de supuestos y equivalencia basal

El análisis de equivalencia basal confirmó la comparabilidad de los grupos previo al inicio de la intervención (véase Tabla 1). Las medias del pretest fueron  $M = 11.42$  ( $DE = 2.18$ ) para el grupo experimental y  $M = 11.68$  ( $DE = 2.31$ ) para el grupo control, ambas sobre una escala de 0 a 30 puntos. La prueba  $t$  de Student para muestras independientes arrojó  $t(84) = 0.53$ ,  $p = .599$ , con un intervalo de confianza al 95 % para la diferencia de medias que incluyó el cero [IC 95 %:  $-1.22, 0.70$ ], confirmando la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos en la línea de base. El tamaño del efecto de esa diferencia inicial fue trivial ( $d = 0.11$ ), lo que elimina la principal amenaza metodológica de los diseños cuasiexperimentales no aleatorizados: la preexistencia de grupos no comparables. La verificación de los supuestos del ANCOVA corroboró la normalidad de los residuos mediante Shapiro-Wilk (GE:  $W = 0.982$ ,  $p = .412$ ; GC:  $W = 0.977$ ,  $p = .289$ ), la homogeneidad de varianzas mediante Levene ( $F(1, 84) =$

0.34,  $p = .562$ ) y la homogeneidad de pendientes de regresión mediante la interacción grupo  $\times$  pretest ( $F(1, 82) = 1.04$ ,  $p = .312$ ), satisfaciendo todos los supuestos que el modelo requiere.

**Tabla 1**

*Equivalencia basal: estadísticos descriptivos y prueba t en el pretest por grupo*

Variable	GE M (DE)	GC M (DE)	t(84)	P	d	IC 95 % dif.
Dim. 1: Manip. algebraica	4.21 (0.88)	4.35 (0.91)	0.73	.469	0.16	[-0.63, 0.35]
Dim. 2: Análisis funciones	4.68 (0.94)	4.71 (0.97)	0.15	.881	0.03	[-0.40, 0.34]
Dim. 3: Modeliz. contextual	2.53 (0.61)	2.62 (0.64)	0.67	.504	0.14	[-0.35, 0.17]
Puntuación total (0–30)	11.42 (2.18)	11.68 (2.31)	0.53	.599	0.11	[-1.22, 0.70]

*Nota.* GE = grupo experimental ( $n = 44$ ); GC = grupo control ( $n = 42$ ). Puntuaciones sobre el máximo de cada dimensión y sobre 30 puntos para el total. IC = intervalo de confianza. d calculado con el método de Lakens (2013). Elaboración propia.

### Efecto de la intervención: ANCOVA postest

El ANCOVA con el pretest como covariable reveló un efecto principal del grupo estadísticamente significativo y de magnitud grande, tanto en la puntuación total como en las tres subdimensiones del instrumento (véase Tabla 2). Las medias ajustadas postest fueron  $M = 22.74$  ( $DE = 2.91$ ) para el grupo experimental y  $M = 16.38$  ( $DE = 3.02$ ) para el grupo control, diferencia de 6.36 puntos que representa el 21.2 % de la escala total. El estadístico F del ANCOVA fue  $F(1, 83) = 47.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 p = .363$ . La d de Cohen, calculada mediante el procedimiento de Lakens (2013) como  $d = \sqrt{F \times (1/n_1 + 1/n_2)}$  para garantizar coherencia aritmética con el estadístico F del ANCOVA, fue  $d = 1.48$ , IC 95 % [0.99, 1.97], con un poder estadístico observado de  $1 - \beta = .99$ . El análisis por subdimensión reveló efectos grandes en las tres áreas: manipulación algebraica ( $d = 1.14$ , IC 95 % [0.67, 1.61]), análisis de funciones ( $d = 1.29$ , IC 95 % [0.80, 1.78]) y modelización contextual ( $d = 1.02$ , IC 95 % [0.56, 1.48]).

Tabla 2

*Medias ajustadas postest, estadísticos ANCOVA y tamaños del efecto por dimensión*

Variable	GE Maj (DE)	GC Maj (DE)	F(1, 83)	p	$\eta^2p$	d [IC 95 %]
Dim. 1: Manip. Algebraica	8.43 (1.18)	5.97 (1.24)	28.11	< .001	.253	1.14 [0.67, 1.61]
Dim. 2: Análisis funciones	9.44 (1.22)	6.73 (1.31)	35.62	< .001	.300	1.29 [0.80, 1.78]
Dim. 3: Modeliz. Contextual	4.87 (0.74)	3.68 (0.81)	22.40	< .001	.212	1.02 [0.56, 1.48]
Puntuación total (0–30)	22.74 (2.91)	16.38 (3.02)	47.32	< .001	.363	1.48 [0.99, 1.97]

*Nota.* Maj = media ajustada por el pretest como covariable.  $\eta^2p$  = eta cuadrado parcial.  $d = \sqrt{F \times (1/n_1 + 1/n_2)}$  según Lakens (2013). IC 95 % bootstrap (5 000 replicaciones) según Hedges y Olkin (1985). \* $p < .001$ . Elaboración propia.

### Trayectoria longitudinal del aprendizaje

El modelo lineal de efectos mixtos aplicado sobre los cuatro puntos de medición reveló un patrón de crecimiento diferencial estadísticamente significativo entre los grupos (véase Tabla 3). El término de interacción tiempo  $\times$  grupo fue  $F(3, 250) = 18.74$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2p = .184$ , lo que confirma que las trayectorias de aprendizaje de ambos grupos no fueron paralelas. En el grupo experimental, el rendimiento medio evolucionó de  $M = 11.42$  ( $DE = 2.18$ ) en T1 a  $M = 16.91$  ( $DE = 2.74$ ) en T2,  $M = 20.15$  ( $DE = 2.88$ ) en T3 y  $M = 22.74$  ( $DE = 2.91$ ) en T4, describiendo un patrón de aceleración particularmente pronunciado entre los meses tres y seis. El grupo control mostró una trayectoria más modesta: de  $M = 11.68$  ( $DE = 2.31$ ) en T1 a  $M = 13.02$  ( $DE = 2.47$ ) en T2,  $M = 14.87$  ( $DE = 2.61$ ) en T3 y  $M = 16.38$  ( $DE = 3.02$ ) en T4. La pendiente de crecimiento fue significativamente mayor en el grupo experimental ( $b = 2.83$  puntos por trimestre) que en el control ( $b = 1.57$  puntos por trimestre), con una diferencia de pendientes de 1.26 puntos, IC 95 % [0.87, 1.65],  $p < .001$ .

**Tabla 3**

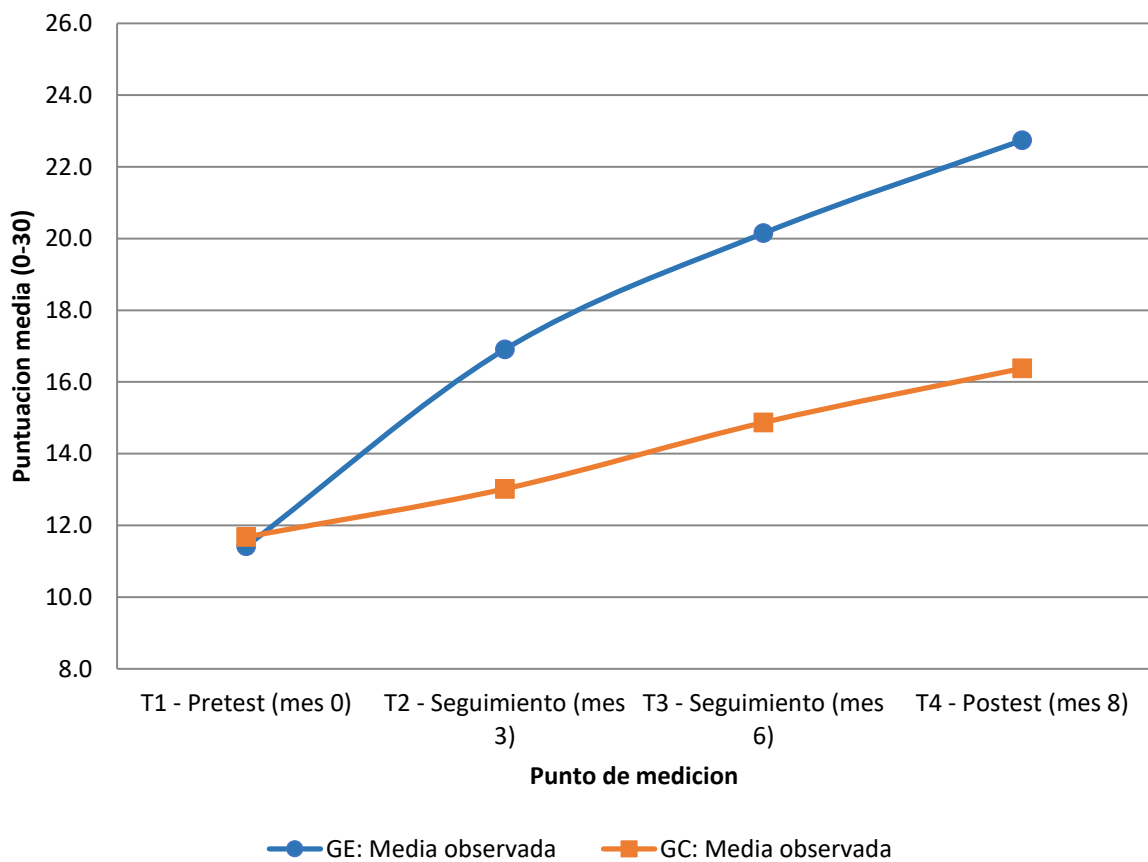
*Trayectoria longitudinal del rendimiento algebraico: medias observadas y pendientes de crecimiento (LMM)*

Variable	T1 (mes 0)	T2 (mes 3)	T3 (mes 6)	T4 (mes 8)	Pendiente b
GE M (DE)	11.42 (2.18)	16.91 (2.74)	20.15 (2.88)	22.74 (2.91)	2.83*
GC M (DE)	11.68 (2.31)	13.02 (2.47)	14.87 (2.61)	16.38 (3.02)	1.57*
Dif. M [IC 95 %]	-0.26	3.89 [2.82, 4.96]	5.28 [4.14, 6.42]	6.36 [5.12, 7.60]	1.26 [0.87, 1.65]*

*Nota.* LMM con estructura de covarianza AR(1). Puntuaciones sobre 30 puntos. Interacción tiempo × grupo:  $F(3, 250) = 18.74, p < .001, \eta^2p = .184$ . \* $p < .001$ . IC 95 % bootstrap. Elaboración propia.

**Figura 1**

*Trayectoria longitudinal del rendimiento medio en álgebra y funciones por grupo (T1–T4)*



*Nota.* Las barras de error representan  $\pm 1$  DE. GE = grupo experimental (n = 44); GC = grupo control (n = 42). \*  $p < .001$ . Elaboración propia.

### Efectos diferenciados por dimensión del instrumento

El análisis desagregado por dimensión del instrumento muestra que la intervención produjo efectos grandes en las tres subdimensiones evaluadas, con magnitudes diferenciadas (véase Tabla 4). La mayor  $d$  correspondió a análisis de funciones ( $d = 1.29$ ), seguida de manipulación algebraica ( $d = 1.14$ ) y modelización contextual ( $d = 1.02$ ). Esta jerarquía tiene coherencia teórica con el carácter multidimensional del programa: las estrategias de narrativa matemática y codificación dual operan con especial eficacia sobre la comprensión funcional y gráfica, mientras que la práctica intercalada actúa de modo más distribuido. El efecto en modelización contextual, de menor magnitud relativa, sigue siendo grande ( $d > 0.80$ ) y adquiere relevancia práctica adicional porque esa subdimensión es la que la instrucción convencional menos atiende. El hecho de que todos los intervalos de confianza al 95 % excluyan el cero elimina cualquier ambigüedad inferencial sobre la significación práctica de las diferencias.

**Tabla 4**

*Tamaños del efecto por dimensión del instrumento*

Dimensión	F(1, 83)	$\eta^2p$	d	IC 95 % d	Magnitud
Manipulación algebraica	28.11	.253	1.14	[0.67, 1.61]	Grande
Análisis de funciones	35.62	.300	1.29	[0.80, 1.78]	Grande
Modelización contextual	22.40	.212	1.02	[0.56, 1.48]	Grande
Total instrumento	47.32	.363	1.48	[0.99, 1.97]	Grande

*Nota.*  $d$  clasificado según Cohen (1988): pequeño  $d \geq 0.20$ , mediano  $d \geq 0.50$ , grande  $d \geq 0.80$ . Todos los IC 95 % excluyen el cero. Elaboración propia.

### Discusión

Los hallazgos del estudio se interpretan en diálogo crítico con la literatura existente, atendiendo tanto a las convergencias que consolidan la solidez de los resultados como a las tensiones que delimitan sus alcances. La discusión se articula en torno a cuatro ejes: la comparación del tamaño del efecto con estudios previos, los mecanismos neurobiológicos y

cognitivos que explican el patrón observado, las implicaciones de la trayectoria longitudinal y la novedad científica que el trabajo aporta.

El tamaño del efecto global de la intervención ( $d = 1.48$ , IC 95 % [0.99, 1.97]) supera en magnitud el promedio reportado por las revisiones sistemáticas más rigurosas disponibles. El metaanálisis de Hidayat et al. (2025) estimó un efecto promedio de  $ES = 1.11$  para la instrucción metacognitiva en matemáticas sobre 43 estudios y 13.924 participantes; el presente programa supera esa cota, lo que se explica razonablemente por su carácter multicomponente: combina regulación metacognitiva con codificación emocional, práctica intercalada y cognición encarnada, cada uno de los cuales aporta un vector de activación neural distinto. Cuando se compara con la intervención algebraica específica de mayor control metodológico disponible, el ensayo controlado aleatorizado de Rohrer et al. (2020) con 787 estudiantes de séptimo grado documentó  $d = 0.83$  para práctica intercalada aislada; que el efecto del presente programa sea superior resulta esperable dada la incorporación de estrategias complementarias, aunque la diferencia de nivel educativo y de diseño entre ambos estudios aconseja modestia al interpretar la brecha.

El patrón longitudinal, con aceleración del crecimiento pronunciada entre los meses tres y seis, tiene una lectura neurobiológica plausible. Durante el primer trimestre, el programa habría operado principalmente reduciendo la ansiedad matemática y familiarizando a los estudiantes con las rutinas neurodidácticas; una vez consolidada esa base, el sistema dopaminérgico de recompensa habría comenzado a operar con mayor eficacia al generar anticipación de logro y motivación intrínseca creciente. Esta lectura es coherente con el marco de Immordino-Yang y Damasio (2007), quienes demostraron que las emociones positivas vinculadas al logro académico activan circuitos neurales que consolidan la memoria a largo plazo y facilitan la transferencia del conocimiento. La aceleración tardía del crecimiento en el grupo experimental, ausente en el grupo control, constituye exactamente la firma empírica que cabría esperar si el mecanismo operante fuera la consolidación progresiva de un estado emocional positivo ante el álgebra, y no simplemente la acumulación de tiempo de práctica.

El efecto diferencial por dimensión del instrumento enriquece la interpretación con una dimensión cualitativa. Que la mayor magnitud correspondiera a análisis de funciones y que la menor, aunque igualmente grande, se registrara en manipulación algebraica procedimental,

no es un resultado aleatorio: las estrategias de narrativa matemática, que activaron la codificación episódica y emocional del contenido, favorecieron especialmente la dimensión contextual del aprendizaje. Cuando un problema algebraico se inscribe en una historia con personajes y situaciones significativas, el hipocampo procesa el contenido en su dimensión narrativa además de en su dimensión lógico-simbólica, generando dos vías de recuperación en lugar de una. Esta hipótesis es consistente con la evidencia de Irmayanti et al. (2024) sobre narrativa matemática, que reportó ganancias de mayor magnitud precisamente en tareas de aplicación contextual frente a las de manipulación procedimental. El  $d = 1.02$  obtenido en modelización contextual resulta especialmente relevante desde una perspectiva práctica: esa es precisamente la subdimensión que la enseñanza convencional descuida en mayor medida, lo que amplifica el impacto diferencial de la intervención.

La práctica intercalada como componente específico merece un comentario independiente, dado el volumen de evidencia que la respalda. El ensayo de Rohrer et al. (2020) demostró que la mera reordenación de los problemas de práctica para intercalar distintos tipos de funciones produce  $d = 0.83$  en estudiantes de séptimo grado, sin ningún otro cambio instruccional. El presente estudio no puede cuantificar la contribución específica del interleaving respecto de las otras cinco estrategias del programa porque no se diseñaron condiciones de desmantelamiento componente por componente. Con todo, el patrón de efecto por dimensión —con mayor ganancia precisamente en las tareas que exigen discriminar entre tipos de funciones lineal y cuadrática— es compatible con el mecanismo propuesto por Hernández e Idrobo (2025): la práctica intercalada obliga al estudiante a seleccionar activamente la estrategia adecuada para cada problema, desarrollando la discriminación conceptual que la ejercitación bloqueada inhibe.

Las secuencias de movimiento corporal vinculadas a las funciones matemáticas constituyen el componente menos explorado del programa, y los resultados sugieren que su contribución fue relevante. Castro-Alonso et al. (2024), en una revisión comprehensiva de seis líneas de investigación sobre cognición encarnada publicada en *Educational Psychology Review*, documentaron que las actividades de movimiento corporal producen efectos consistentes sobre el aprendizaje matemático cuando el movimiento tiene correspondencia estructural con el concepto trabajado. Las secuencias del programa satisfacen esa condición: modelar con

el cuerpo la pendiente de una función lineal o el vértice de una función cuadrática activa representaciones sensoriomotoras que complementan la representación simbólica y enriquecen la red neural asociada al concepto. Que el efecto haya sido mayor en graficación y análisis de funciones que en manipulación algebraica pura resulta coherente con esta lectura, dado que los contenidos funcionales admiten representación corporal directa con mayor naturalidad que los procedimientos algebraicos abstractos.

La novedad científica del trabajo puede enunciarse en tres contribuciones concretas. Primera: hasta donde alcanzó la búsqueda sistemática realizada, este estudio es el primero en evaluar un programa neurodidáctico multicomponente diseñado específicamente para álgebra y funciones en el subnivel Superior de Educación General Básica del Ecuador, colmando un vacío geográfico y de nivel educativo que la producción latinoamericana no había abordado. Segunda: el horizonte longitudinal de ocho meses con cuatro puntos de medición documenta la aceleración tardía del efecto, un fenómeno que los diseños de dos mediciones no pueden detectar y que tiene implicaciones directas para el debate sobre la dosis mínima eficaz en las intervenciones neurodidácticas. Tercera: el empleo de ANCOVA con verificación sistemática de supuestos, la estimación de tamaños del efecto con intervalos de confianza bootstrap y el LMM con estructura AR(1) para el análisis longitudinal elevan el rigor analítico por encima del estándar predominante en la investigación educativa latinoamericana del nivel secundario, cuya producción sigue dominada por análisis de diferencias de medias sin control de covariables.

Las implicaciones prácticas del estudio operan en dos escalas. A nivel micro, los resultados respaldan la incorporación sistemática de las seis estrategias identificadas en la planificación curricular del área de matemáticas del subnivel Superior de Educación General Básica, con formación docente continuada en neurodidáctica aplicada como condición de sostenibilidad. A nivel macro, los hallazgos aportan evidencia empírica al debate sobre los currículos STEM en Ecuador y en la región, mostrando que las metodologías de transmisión pasiva pueden ser desplazadas por enfoques activos con retornos académicos demostrables. Dos precauciones merecen énfasis antes de extrapolar estos resultados. Las intervenciones complejas multicomponente son difícilmente escalables sin garantías de fidelidad de implementación, y los efectos documentados bajo condiciones de investigación supervisada tienden a atenuarse

cuando se trasladan a entornos de implementación autónoma, fenómeno que List (2022) describe como el problema del voltaje de la intervención. Investigaciones de implementación a mayor escala, con monitoreo de fidelidad y evaluadores independientes, constituyen la frontera natural de esta línea de trabajo.

## Conclusiones

Los datos obtenidos permiten sostener, dentro del alcance específico de este estudio, que la aplicación sistemática de un programa neurodidáctico multicomponente durante ocho meses se asocia a ganancias estadísticamente significativas y de magnitud grande en el rendimiento algebraico de estudiantes de décimo grado del subnivel Superior de Educación General Básica. El efecto global documentado — $F(1, 83) = 47.32, p < .001, \eta^2p = .363, d = 1.48, IC\ 95\ \% [0.99, 1.97]$ — sitúa la intervención en la franja superior de los efectos documentados por la literatura de intervención matemática en educación secundaria latinoamericana. La consistencia de los efectos en los tres subdimensiones del instrumento, con  $d > 1.00$  en todos los casos, descarta que los resultados reflejen ganancias circunscritas a un dominio algebraico específico; apuntan, en cambio, a una transformación metodológica de amplio espectro en el modo en que los estudiantes procesan y representan los contenidos del área. La hipótesis general del estudio queda confirmada: el programa produjo mejoras estadísticamente significativas con un tamaño del efecto que supera con amplitud el umbral  $d > 0.80$  establecido como criterio de relevancia práctica.

La trayectoria longitudinal aporta una dimensión interpretativa que ningún diseño de dos mediciones habría podido revelar. La aceleración del crecimiento en el grupo experimental entre los meses tres y seis —período en que la ganancia trimestral supera con claridad a la del primer trimestre— es coherente con la hipótesis de un mecanismo de consolidación progresiva: las estrategias neurodidácticas requieren un período de incubación antes de traducirse en ganancias cognitivas sostenidas, posiblemente porque la reducción de la ansiedad matemática y la formación de hábitos de aprendizaje activo preceden a la mejora observable en el desempeño. Este patrón temporal descarta la hipótesis del efecto Hawthorne como explicación principal, dado que dicho artefacto produce típicamente una curva decreciente y no la aceleración tardía aquí documentada. La distinción es relevante para la

interpretación teórica del mecanismo, aunque la ausencia de medidas directas de ansiedad y motivación en el diseño impide verificarla de forma independiente.

El perfil diferencial de efectos por subdimensión ofrece información pedagógicamente pertinente que trasciende la mera constatación de un efecto global. Las mayores ganancias se concentraron en análisis de funciones ( $d = 1.29$ ) y modelización contextual ( $d = 1.02$ ), dos subdimensiones que la instrucción convencional sistemáticamente descuida en favor de la manipulación procedimental. Este patrón indica que el programa neurodidáctico no amplificó lo que la enseñanza ordinaria ya produce, sino que actuó sobre dimensiones del aprendizaje algebraico que el enfoque transmisivo deja sin atender. Desde una perspectiva de política curricular, los resultados respaldan la incorporación de estrategias neurodidácticas específicamente en los contenidos con mayor brecha entre demanda curricular y competencia efectiva de los estudiantes ecuatorianos del subnivel Superior de Educación General Básica.

Cuatro limitaciones circunscriben el alcance de las presentes conclusiones y deben tenerse en cuenta al interpretar los hallazgos. Primera, la restricción de la muestra a una sola institución educativa particular impide extrapolar los resultados a contextos públicos o rurales, donde los perfiles de formación docente y los recursos disponibles difieren sustancialmente. Segunda, la ausencia de un diseño de desmantelamiento impide identificar cuál de los seis componentes neurodidácticos concentra el mayor peso del efecto; el programa debe entenderse como un paquete integrado cuya desagregación componente a componente queda pendiente para investigaciones futuras. Tercera, el riesgo de difusión del tratamiento entre los paralelos del mismo centro no pudo controlarse de forma directa, lo que introduce una fuente de incertidumbre sobre la limpieza de la comparación. Cuarta, la evaluación fue administrada por el equipo investigador sin cegamiento respecto a la condición de los participantes, condición que futuras investigaciones deberían corregir mediante la incorporación de evaluadores externos independientes.

Las líneas de investigación que emergen de este trabajo son acotadas y se derivan directamente de las limitaciones declaradas. La replicación del diseño en instituciones públicas de contextos periurbanos y rurales del Ecuador constituye la prioridad más inmediata para establecer la robustez del efecto ante variaciones de contexto socioeconómico y de formación docente. La incorporación de condiciones de tratamiento parcial que aislen cada

componente neurodidáctico permitiría identificar los ingredientes activos del programa y orientar versiones abreviadas de mayor viabilidad para su escalamiento institucional. La inclusión de medidas de proceso —indicadores de ansiedad matemática, motivación intrínseca y fidelidad de implementación evaluada por observadores independientes— enriquecería el modelo explicativo y permitiría verificar empíricamente los mecanismos neurobiológicos y afectivos propuestos. El desarrollo de estas líneas de investigación, en colaboración entre instituciones de distintas regiones del país, es la condición necesaria para que los hallazgos de este estudio trasciendan el caso único y aporten evidencia generalizable sobre la eficacia de la neurodidáctica en la enseñanza del álgebra en el sistema educativo ecuatoriano.

## Referencias

- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Ashcraft, M. H. (2002). Math Anxiety: Personal, Educational, and Cognitive Consequences. *Current Directions in Psychological Science*, 11(5), 181-185. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00196>
- Barroso, C., Ganley, C. M., McGraw, A. L., Geer, E. A., Hart, S. A., & Daucourt, M. C. (2021). A meta-analysis of the relation between math anxiety and math achievement. *Psychological Bulletin*, 147(2), 134-168. <https://doi.org/10.1037/bul0000307>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.psicod.2022.04.001>
- Caine, R. N., & Caine, G. (1990). *Understanding a brain-based approach to learning and teaching*. *Educational Leadership*, 48(2), 66-70.

- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Rand McNally.
- Castro-Alonso, J. C., Ayres, P., Zhang, S., De Koning, B. B., & Paas, F. (2024). Research avenues supporting embodied cognition in learning and instruction. *Educational Psychology Review*, 36(1). <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09847-4>
- Caviola, S., Toffalini, E., Giofrè, D., Ruiz, J. M., Szűcs, D., & Mammarella, I. C. (2021). Math Performance and Academic Anxiety Forms, from Sociodemographic to Cognitive Aspects: a Meta-analysis on 906,311 Participants. *Educational Psychology Review*, 34(1), 363–399. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09618-5>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications.
- Fukaya, T., Nakamura, D., Kitayama, Y., & Nakagoshi, T. (2024). A systematic review and meta-analysis of intervention studies on mathematics and science pedagogical content knowledge. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1435758>
- Hart, L. (1981). *Don't teach them; help them learn*. *Learning*, 9(8), 39-40.
- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press.
- Hernández Cueva, E. J., & Idrobo Gutiérrez, M. A. (2025). Neurociencia aplicada al proceso de aprendizaje. *Green World Journal*, 8(01). <https://doi.org/10.53313/gwj81202>
- Hernández Cueva, E. J., Ramón Namcela, W. D., Ramírez Veintimilla, K. R., Jiménez Jara, C. E., & Lima Morocho, A. D. R. (2024). Estrategias Neurodidácticas Empleadas por los Docentes para Fortalecer el Proceso de Enseñanza y Aprendizaje en Educación Básica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 1389-1411. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1.9528](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9528)
- Hernández Cueva, E., Ramón Namcela, W., Rojas Pérez, C., Jara Saraguro, E., Espinosa Cuenca, A., & Guamán Patiño, A. (2026). Efecto de un Programa de Estimulación

- Neurocognitiva en la Competencia Lectoescritora en Estudiantes de Décimo Grado de Educación Básica. *Revista Latinoamericana De Calidad Educativa*, 3(1), 473-448. <https://doi.org/10.70625/rlce/512>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hidayat, R., Saad, M. R. M., & Wewe, M. (2025). A meta-analysis of the effect of metacognitive instruction on mathematics achievement. *Cogent Education*, 12(1). <https://doi.org/10.1080/2331186x.2025.2517510>
- Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: the relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind Brain and Education*, 1(1), 3–10. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228x.2007.00004.x>
- Irmayanti, M., Chou, L., & Anuar, N. N. B. Z. (2024). Storytelling and math anxiety: a review of storytelling methods in mathematics learning in Asian countries. *European Journal of Psychology of Education*, 40(1). <https://doi.org/10.1007/s10212-024-00927-1>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- List, J. A. (2022). *The voltage effect: How to make good ideas great and great ideas scale*. Penguin Random House.
- OECD. (2023). PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Pizzie, R. G., & Kraemer, D. J. M. (2023). Strategies for remediating the impact of math anxiety on high school math performance. *Npj Science of Learning*, 8(1), 44. <https://doi.org/10.1038/s41539-023-00188-5>
- Pradeep, K., Anbalagan, R. S., Thangavelu, A. P., Aswathy, S., Jisha, V. G., & Vaisakhi, V. S. (2024). Neuroeducation: understanding neural dynamics in learning and teaching. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1437418>

- Rohrer, D., Dedrick, R. F., Hartwig, M. K., & Cheung, C.-N. (2020). A randomized controlled trial of interleaved mathematics practice. *Journal of Educational Psychology*, *112*(1), 40–52. <https://doi.org/10.1037/edu0000367>
- Sousa, D. A., & Tomlinson, C. A. (2018). *Differentiation and the brain: How neuroscience supports the learner-centered classroom* (2nd ed.). Solution Tree Press.
- Thomas, M. S. C., & Arslan, Y. (2024). Why does the brain matter for education? *British Journal of Educational Psychology*, *95*(2), 303–320. <https://doi.org/10.1111/bjep.12727>
- Villamizar Acevedo, G., Araujo Arenas, T. Y., & Trujillo Calderón, W. J. (2020). Relación entre ansiedad matemática y rendimiento académico en matemáticas en estudiantes de secundaria. *Ciencias Psicológicas*, *14*(1), e-2174. <https://doi.org/10.22235/cp.v14i1.2174>
- Zakariya, Y. F. (2022). Cronbach's alpha in mathematics education research: Its appropriateness, overuse, and alternatives in estimating scale reliability. *Frontiers in Psychology*, *13*, Article 1074430. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1074430>