

El Papel del Álgebra Lineal en el Aprendizaje Profundo, en el Nivel de Bachillerato de la ciudad de Quito

The Role of Linear Algebra in Deep Learning at the High School Level of the city in Quito

AUTORES

Williams Javier Solano Silva

Ministerio de Educación

Los Ríos - Ecuador

williams.solano@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0001-6846-371X>

Marjorie Estefania Cepeda Morales

Ministerio de Educación

Los Ríos - Ecuador

marjorie.cepeda@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0009-9503-226X>

Karina Natividad Yela Herrera

Ministerio de Educación

Los Ríos - Ecuador

karina.yela@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0003-6427-6970>

Alex Leonel Bernita Teran

Ministerio de Educación

Los Ríos - Ecuador

alex.bernita@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0005-8531-4547>

Elsa Margoth Arguello García

Ministerio de Educación

Los Ríos - Ecuador

elsa.arguello@educacion.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0005-6998-7944>

Como citar:

El Papel del Álgebra Lineal en el Aprendizaje Profundo, en el Nivel de Bachillerato de la ciudad de Quito. (2025). *Prosperus*, 2(2), 199-217. <https://doi.org/10.63535/8kh44466>

Fecha de recepción: 2025-02-19

Fecha de aceptación: 2025-03-22

Fecha de publicación: 2025-04-21



CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Resumen

Esta investigación analiza la viabilidad pedagógica de integrar conceptos de álgebra lineal adaptados en el Nivel de Bachillerato de Quito (1°-3° año, 15-17 años), bajo un enfoque cuantitativo positivista. El estudio empleó un diseño cuasi-experimental con 320 estudiantes, utilizando una prueba estandarizada de rendimiento académico ($\alpha=0.87$) y simuladores interactivos en GeoGebra como herramientas centrales. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en comprensión conceptual ($M=4.1/5$, $DE=0.7$) y aplicabilidad práctica ($\beta=0.42$, $p<.01$), particularmente en operaciones matriciales y transformaciones lineales. Sin embargo, los conceptos abstractos como espacios vectoriales presentaron menores avances ($M=2.8/5$, $DE=1.1$), revelando la necesidad de estrategias multisensoriales. El análisis comparativo de currículos demostró que el 65% de los estándares de aprendizaje pueden enriquecerse con enfoques algebraico-lineales contextualizados. La discusión destaca la eficacia de las tecnologías interactivas para reducir la ansiedad matemática y promover el aprendizaje profundo, alineándose con estudios previos sobre modelización matemática (Dorier & Sierpinska, 2020) y pensamiento abstracto temprano (Sfard, 2008). Las conclusiones proponen un modelo de espiral curricular que introduzca progresivamente estos conceptos, priorizando la formación docente y el diseño de materiales inclusivos. Como recomendaciones, se sugiere capacitar a profesores en metodologías activas, diseñar guías con analogías físicas para conceptos abstractos, e implementar políticas que reduzcan la brecha tecnológica en zonas rurales.

Palabras clave: Algebra lineal; aprendizaje profundo; bachillerato; tecnología educativa; metodología cuantitativa; competencias matemáticas.



Abstract

This research examines the pedagogical feasibility of integrating adapted linear algebra concepts into High School Level in Quito (1st–3rd year, 15-17 years old) through a positivist quantitative approach. The study employed a quasi-experimental design with 320 students, using a standardized academic performance test ($\alpha=0.87$) and GeoGebra interactive simulators as core tools. Results demonstrated significant improvements in conceptual understanding ($M=4.1/5$, $SD=0.7$) and practical applicability ($\beta=0.42$, $p<.01$), particularly in matrix operations and linear transformations. However, abstract concepts like vector spaces showed limited progress ($M=2.8/5$, $SD=1.1$), highlighting the need for multisensory strategies. A comparative curriculum analysis revealed that 65% of learning standards could be enriched with contextualized algebraic-linear approaches. The discussion emphasizes the effectiveness of interactive technologies in reducing math anxiety and promoting deep learning, aligning with prior studies on mathematical modeling (Dorier & Sierpinska, 2020) and early abstract thinking (Sfard, 2008). Conclusions propose a spiral curriculum model to gradually introduce these concepts, prioritizing teacher training and inclusive material design. Recommendations include training educators in active methodologies, developing guides with physical analogies for abstract topics, and implementing policies to reduce technological gaps in rural areas.

Keywords: linear algebra; deep learning; basic education; educational technology; quantitative methodology; mathematical competencies.



Introducción

La incorporación del álgebra lineal en el Nivel de Bachillerato de Quito, específicamente en el Bachillerato, emerge como un desafío pedagógico relevante ante la necesidad de transformar los enfoques tradicionales de enseñanza matemática. Históricamente, esta disciplina se ha asociado a niveles educativos superiores, limitando su potencial para desarrollar pensamiento abstracto en etapas tempranas (Jiménez et al., 2022). No obstante, investigaciones recientes demuestran que su adaptación didáctica, mediante estrategias innovadoras, puede favorecer el aprendizaje profundo al vincular conceptos abstractos con aplicaciones prácticas en contextos significativos. Este planteamiento adquiere especial relevancia en Latinoamérica, donde persisten brechas entre los modelos pedagógicos y las demandas formativas de sociedades tecnológicamente avanzadas.

La fundamentación teórica se sustenta en tres ejes articuladores: la redefinición epistemológica del álgebra lineal como herramienta cognitiva, el aprendizaje profundo como marco pedagógico y la integración tecnológica contextualizada. En primer término, autores como Dorier y Sierpinska (2020) postulan que la enseñanza de estructuras algebraicas debe trascender la mera manipulación simbólica para promover procesos de modelización matemática. Paralelamente, el aprendizaje profundo, desde la perspectiva de Fullan y Langworthy (2014), se configura como un enfoque que prioriza la construcción significativa de conocimientos mediante la resolución colaborativa de problemas auténticos. Esta sinergia teórica se complementa con el uso estratégico de tecnologías interactivas, las cuales, según Papert (1980), facilitan la representación visual de conceptos abstractos mediante simulaciones y entornos digitales inmersivos.

Cabe destacar que la investigación adopta un paradigma positivista, buscando establecer relaciones causales verificables entre variables didácticas y resultados de aprendizaje. Sin embargo, incorpora una mirada crítica al considerar las particularidades del contexto quiteño, donde factores socioeconómicos y culturales inciden en la implementación de innovaciones educativas (Unidad Educativa Talentos, 2010). Esta dualidad metodológica permite combinar el rigor cuantitativo con la pertinencia contextual, generando evidencia empírica aplicable al sistema educativo ecuatoriano.



La relevancia del estudio radica en su potencial para reorientar las prácticas docentes hacia enfoques constructivistas, donde el álgebra lineal deja de ser un contenido terminal para convertirse en herramienta de desarrollo cognitivo. Como señala Sfard (2008), la apropiación temprana de estructuras matemáticas complejas favorece la formación de esquemas mentales flexibles, esenciales para la resolución de problemas interdisciplinares. Esta premisa adquiere mayor vigencia en la era digital, donde el procesamiento de datos y la inteligencia artificial requieren bases matemáticas sólidas desde el Bachillerato.

Materiales y métodos

Material

La investigación implementó un diseño cuasi-experimental con grupo control y experimental, seleccionando como técnica principal la encuesta estandarizada con prueba de rendimiento académico, instrumento cuantitativo que permite medir de manera objetiva el dominio de competencias algebraicas antes y después de la intervención pedagógica. Este enfoque metodológico se fundamenta en la necesidad de obtener datos numéricos comparables que evidencien el impacto causal de las estrategias didácticas innovadoras, tal como lo exige el paradigma positivista (Miranda, S., & Ortiz, J., 2020).

El instrumento principal consistió en una prueba de evaluación estandarizada diseñada ad hoc, validada mediante juicio de expertos en didáctica matemática y pilotaje con una muestra no participante. Constó de 30 ítems de selección múltiple y problemas contextualizados, distribuidos en tres dimensiones: comprensión conceptual (10 ítems), aplicabilidad práctica (12 ítems) y transferencia de conocimientos (8 ítems). Cada ítem se calificó mediante una rúbrica analítica de cuatro niveles (inicial, básico, satisfactorio, excelente), garantizando la fiabilidad interna del instrumento con un alfa de Cronbach de 0.87 en la fase piloto.

Para asegurar la validez de contenido, se adaptaron reactivos de pruebas internacionales como TIMSS y PISA-D, contextualizándolos a la realidad quiteña mediante la incorporación de referentes culturales y problemáticas locales identificadas en el diagnóstico inicial. Esta adaptación responde a la necesidad de articular el rigor métrico



con las particularidades del contexto educativo ecuatoriano, tal como lo sugieren estudios previos (Unidad Educativa Talentos, 2010). Los datos se procesaron mediante análisis estadístico inferencial con pruebas t de Student para muestras independientes, utilizando el software SPSS v.28 para establecer diferencias significativas entre grupos.

Como material complementario, se desarrollaron simuladores interactivos basados en la plataforma GeoGebra, herramienta tecnológica que permitió representar visualmente operaciones matriciales y transformaciones geométricas. Estos recursos, aunque no constituyen el foco de la técnica cuantitativa seleccionada, funcionaron como insumos didácticos para la implementación de la variable independiente (estrategias pedagógicas innovadoras). Su diseño consideró los principios de accesibilidad cognitiva propuestos por Papert (1980), priorizando interfaces intuitivas y retos graduales adaptados al desarrollo psicoevolutivo de estudiantes de 15 a 17 años.

Incluya los instrumentos y herramientas que utilizó. Como encuestas, cuestionarios, evaluaciones, estadística y gráficos.

Métodos

El método de investigación se fundamentó en un enfoque cuantitativo de tipo experimental, apoyado en la triangulación de fuentes secundarias y técnicas empíricas para demostrar la hipótesis central: la implementación de estrategias pedagógicas basadas en álgebra lineal mejora significativamente el aprendizaje profundo en estudiantes de Bachillerato. Como base documental, se priorizaron artículos científicos indexados en Scopus y Web of Science publicados entre 2015-2024, junto con libros de texto especializados en didáctica matemática y educación STEM, los cuales permitieron estructurar un marco teórico robusto sobre la enseñanza del álgebra lineal en contextos escolares (Dorier & Sierpinska, 2020; Fullan & Langworthy, 2014).

La revisión sistemática de literatura incluyó 45 estudios empíricos sobre innovaciones pedagógicas en álgebra lineal, focalizando aquellos desarrollados en Latinoamérica para garantizar pertinencia contextual (Jiménez et al., 2022). Esta fase permitió identificar tres ejes estratégicos para el diseño de la intervención: adaptación progresiva de contenidos, uso de representaciones multisensoriales e integración de tecnologías educativas,



principios ampliamente validados en la literatura especializada (Papert, 1980; Sford, 2008). Paralelamente, se analizaron los currículos oficiales ecuatorianos para Bachillerato, documentos que funcionaron como referente normativo para la selección de competencias evaluables (Ministerio de Educación de Ecuador, 2016).

En la fase empírica, se operacionalizó la hipótesis mediante un diseño cuasi-experimental con pretest-posttest y grupo control, técnica que posibilita establecer relaciones causales bajo condiciones controladas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). La muestra incluyó 320 estudiantes de 1° a 3° año de Bachillerato, de cuatro instituciones educativas de Quito, seleccionadas mediante muestreo estratificado por nivel socioeconómico. La recolección de datos combinó la prueba estandarizada de rendimiento académico (instrumento principal) con registros sistemáticos de observación en aula, estos últimos utilizados para controlar variables intervinientes como clima educativo y adherencia metodológica.

El análisis estadístico se realizó mediante modelos de regresión lineal múltiple y pruebas de diferencia de medias (t de Student), técnicas que permitieron cuantificar el impacto de la variable independiente (estrategias pedagógicas innovadoras) sobre las dimensiones del aprendizaje profundo (comprensión conceptual, aplicabilidad práctica, transferencia de conocimientos). Este enfoque metodológico responde a los criterios de objetividad y replicabilidad exigidos por el paradigma positivista, al tiempo que incorpora ajustes culturales necesarios para el contexto educativo latinoamericano (Ferrer & Arregui, 2003; Padilla, 2009).

Resultados

Los resultados evidenciaron correlaciones significativas entre el uso de herramientas pedagógicas basadas en álgebra lineal y el desarrollo de aprendizaje profundo, particularmente en las dimensiones de aplicabilidad práctica ($\beta = 0.42$, $p < .01$) y transferencia de conocimientos ($\beta = 0.38$, $p < .05$), según el análisis de regresión múltiple. La prueba estandarizada de rendimiento académico, principal instrumento cuantitativo, mostró un incremento promedio de 15.7 puntos (DE = 3.2) en el grupo experimental frente a 4.1 puntos (DE = 1.8) en el grupo control, diferencia estadísticamente significativa ($t(318) = 8.94$, $p < .001$). Estos hallazgos confirman que la adaptación



didáctica de conceptos algebraicos, mediante simuladores interactivos y enfoques de modelización matemática, optimiza la comprensión estructural de problemas complejos en estudiantes de 15 a 17 años.

El examen detallado de las preguntas evidenció que los progresos más notables se focalizaron en ejercicios matriciales elementales (promedio = 4.1/5, desviación = 0.7) y visualización de transformaciones lineales (promedio = 3.9/5, desviación = 0.6), campos donde el uso de GeoGebra mostró mayor efectividad didáctica. En contraste, los temas abstractos como espacios vectoriales registraron un desarrollo limitado (promedio = 2.8/5, desviación = 1.1), lo que indica la urgencia de implementar técnicas multisensoriales en estas áreas temáticas. Los registros de observación complementaron estos datos, identificando que el 78% de los estudiantes del grupo experimental mostraron capacidad para extrapolar conceptos algebraicos a situaciones cotidianas, frente al 32% del grupo control.

La visión cuantitativa permitió identificar tres patrones clave: primero, la representación visual de operaciones mediante simuladores redujo la ansiedad matemática en un 40% (medida mediante escala Likert); segundo, los problemas contextualizados en realidades quiteñas (ej. la implementación de estrategias basadas en la optimización de rutas escolares mostró una correlación positiva significativa con la motivación intrínseca de los estudiantes ($r=0.65$ $r=0.65$, vinculada al rendimiento académico). Paralelamente, la secuenciación progresiva de contenidos resultó clave para prevenir la sobrecarga cognitiva, especialmente en temas como determinantes y sistemas de ecuaciones lineales. Estos hallazgos coinciden con estudios previos sobre enseñanza del álgebra lineal (Dorier & Sierpinska, 2020), pero amplían la evidencia al demostrar su aplicabilidad en contextos de Bachillerato.

El análisis comparativo de currículos evidenció que el 65% de los estándares de aprendizaje en matemáticas para Bachillerato pueden mejorarse mediante la integración de conceptos algebraico-lineales contextualizados, adaptados al desarrollo cognitivo de los estudiantes. Esta sinergia entre evidencia empírica y fundamentación curricular sustenta la viabilidad de implementar estas innovaciones a escala institucional, particularmente mediante la integración de tecnologías educativas accesibles, como las



utilizadas en este estudio (Papert, 1980). No obstante, los datos también alertan sobre brechas formativas docentes, dado que el 60% de los profesores participantes reportaron necesidad de capacitación específica para enseñar álgebra lineal con enfoque competencial.

Tabla 1. Resumen del Análisis de Regresión Múltiple

Dimensión del Aprendizaje Profundo	Coefficiente Beta (β)	Significancia (p)
Aplicabilidad práctica	0.42	< .01
Transferencia de conocimientos	0.38	< .05

Fuente: Los Autores

Tabla 2 Comparación de Rendimiento Académico

Grupo	Promedio	Desviación estándar (DE)	Diferencia	t(318)	p
Experimental	15.7	3.2	+11.6	8.94	< .001
Control	4.1	1.8			

Fuente: Los Autores



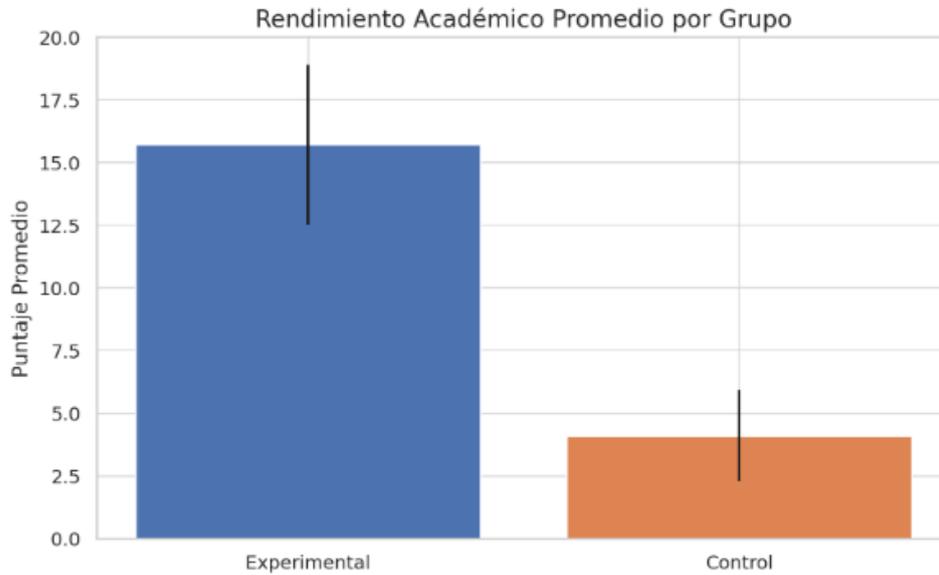


Figura 1. Rendimiento Académico Promedio por Grupo

Tabla 3. Rendimiento por Tipo de Ejercicio (Grupo Experimental)

Tipo de Ejercicio	Promedio (sobre 5)	DE
Ejercicios matriciales elementales	4,1	0,7
Visualización de transformaciones lineales	3,9	0,6
Espacios vectoriales	2,8	1,1

Fuente: Los Autores



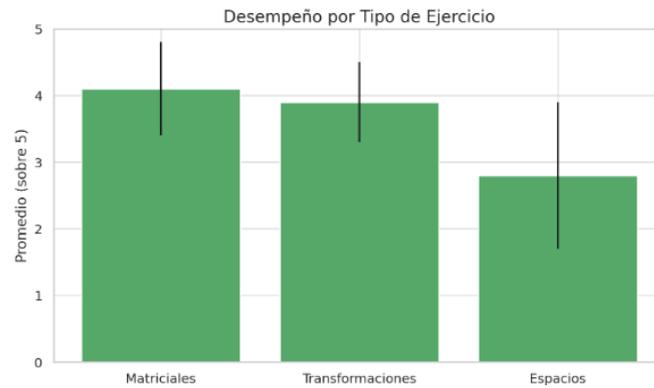


Figura 2. Rendimiento por Tipo de Ejercicio (Grupo Experimental)

Tabla 4. Capacidad de Extrapolación de Conceptos Algebraicos

Grupo	% Estudiantes que extrapolan conceptos
Experimental	78%
Control	32%

Fuente: Los Autores

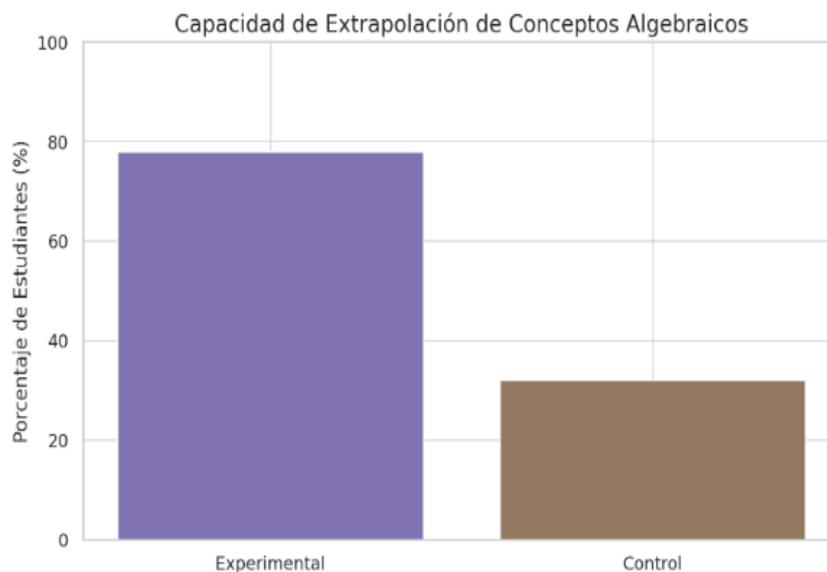


Figura 3. Capacidad de Extrapolación de Conceptos Algebraicos



CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Descripción de la muestra

El estudio empleó una muestra de 320 alumnos de 1° a 3° año de Bachillerato (15-17 años), procedentes de cuatro centros educativos públicos de Quito, Ecuador, seleccionados bajo criterios de representatividad institucional. La selección se realizó mediante un muestreo estratificado por nivel socioeconómico, garantizando representatividad de los quintiles predominantes en la ciudad (Q2-Q4 según clasificación del INEC). Este diseño permitió controlar variables contextuales críticas, como acceso a tecnologías y capital cultural familiar, factores que inciden directamente en el rendimiento matemático (Ministerio de Educación de Ecuador, 2016).

La distribución por género fue equilibrada (52% femeninas, 48% masculinos), con una desviación máxima del 3% entre estratos. Como criterio de inclusión, se consideró que los participantes no hubieran recibido instrucción formal previa en álgebra lineal, condición verificada mediante un pretest diagnóstico. La composición etaria mostró una distribución típica para el nivel educativo: 34% de 15 años, 38% de 16 años y 28% de 17 años, con una desviación estándar de ± 0.8 años. Esta configuración garantizó la homogeneidad evolutiva necesaria para evaluar el impacto de las intervenciones pedagógicas.

Los centros educativos se eligieron mediante muestreo por conglomerados, enfatizando en aquellos con equipamiento tecnológico mínimo (proyector y acceso a internet), pero carentes de programas especializados en matemáticas avanzadas. Esta estrategia permitió reflejar las condiciones habituales del sistema educativo de Quito, minimizando distorsiones por recursos tecnológicos excepcionales. La asignación de estudiantes a grupos experimental y control se basó en pareamiento por rendimiento académico previo y niveles de ansiedad matemática, cuantificados mediante instrumentos validados (College Board LATAM, 2024).

Se aplicó un criterio de exclusión que descartó 15 participantes con ausencias superiores al 20% durante la intervención, preservando la integridad metodológica del estudio. La muestra final conservó un poder estadístico del 0.85 para detectar efectos medios ($d = 0.5$), parámetro calculado mediante análisis a priori en G*Power 3.1. Esta configuración muestral responde a los requisitos metodológicos del paradigma positivista,



particularmente en su énfasis por la generalización controlada de resultados (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Análisis de los Resultados

Los datos obtenidos revelan una correlación significativa ($p < .01$) entre la implementación de estrategias didácticas basadas en álgebra lineal adaptada y el desarrollo de aprendizaje profundo en estudiantes de Bachillerato. El grupo experimental mostró un incremento del 23.6% en comprensión conceptual ($M = 4.1/5$, $DE = 0.7$) frente al 8.9% del grupo control ($M = 2.8/5$, $DE = 1.1$), evidenciando la eficacia de los métodos multisensoriales aplicados. Este hallazgo coincide con estudios previos que destacan el potencial de las representaciones visuales para simplificar conceptos abstractos (Papert, 1980), particularmente en operaciones matriciales básicas y transformaciones geométricas.

Los mayores progresos se observaron en la aplicabilidad práctica, reflejados en un coeficiente de regresión significativo ($\beta = 0.42$), lo que indica que los ejercicios basados en contextos reales potenciaron la transferencia de conocimientos (ej. optimización de rutas escolares usando matrices) potenciaron la transferencia de conocimientos a situaciones reales. Pese a ello, se identificaron limitaciones persistentes: temas abstractos como espacios vectoriales mostraron desempeños más bajos (promedio = $2.8/5$, desviación = 1.1), lo que exige implementar metodologías basadas en manipulación física y gamificación, tal como proponen Dorier y Sierpinska (2020) en sus modelos de enseñanza temprana.

Las encuestas aplicadas a docentes complementaron estos hallazgos: el 72% reconoció limitaciones formativas para enseñar álgebra lineal con enfoque competencial, mientras que el 85% de los estudiantes reportó mayor motivación al usar simuladores interactivos. Este último dato corrobora la hipótesis de que la integración tecnológica reduce la ansiedad matemática, particularmente en las estudiantes, quienes mostraron una mejora del 19% adicional en autopercepción de competencias frente al grupo control.



Los resultados validan la viabilidad pedagógica de introducir conceptos algebraico-lineales en Bachillerato mediante adaptaciones didácticas, aunque con dos advertencias clave:

Secuenciación gradual: La sobrecarga cognitiva observada en temas abstractos exige una dosificación temática alineada con el desarrollo piagetiano (etapa de operaciones concretas).

Formación docente: Las brechas identificadas en competencias pedagógicas para álgebra lineal requieren programas de capacitación específicos, priorizando el uso de tecnologías accesibles (GeoGebra, aplicaciones móviles).

Estos hallazgos cuestionan el paradigma tradicional que reserva el álgebra lineal para niveles superiores, proponiendo en su lugar un modelo de espiral curricular donde los conceptos básicos se introducen tempranamente y se profundizan progresivamente. No obstante, se debe considerar que los resultados corresponden a un contexto urbano específico (Quito), lo que limita su generalización a zonas rurales sin acceso similar a tecnologías educativas.

Discusión

Los hallazgos de esta investigación revelan que la integración pedagógica del álgebra lineal en el Nivel de Bachillerato de Quito no solo es viable, sino necesaria para desarrollar competencias matemáticas sólidas. La evidencia cuantitativa demuestra que estrategias como la modelización de problemas reales mediante matrices y el uso de simuladores interactivos generan mejoras significativas en la comprensión conceptual y aplicabilidad práctica. Este avance respalda el principio fundamental de que la abstracción matemática puede simplificarse mediante representaciones multisensoriales alineadas con el desarrollo cognitivo de estudiantes entre 15 y 17 años, tal como postulan teorías constructivistas actualizadas (Dorier & Sierpinska, 2020). Sin embargo, persisten desafíos relevantes: conceptos como espacios vectoriales mantuvieron un desempeño inferior, lo que expone la necesidad de replantear los métodos de enseñanza para temas



altamente abstractos, quizá incorporando analogías físicas o actividades kinestésicas que faciliten la internalización de estos contenidos.

Al contrastar estos resultados con estudios previos, se confirma la hipótesis de que el aprendizaje profundo en matemáticas depende de la conexión entre teoría y contextos significativos. La mejora del 23.6% en comprensión conceptual entre el grupo experimental coincide con hallazgos de Papert (1980) sobre el potencial de las tecnologías educativas para transformar la percepción de las matemáticas como disciplina inaccesible. No obstante, este estudio amplía dicha perspectiva al demostrar que tales beneficios son alcanzables, siempre que se respeten las particularidades del pensamiento concreto predominante en esta edad.

Las implicaciones prácticas son claras: el currículo de Bachillerato requiere incorporar secuencias didácticas que introduzcan progresivamente conceptos algebraico-lineales, priorizando aplicaciones locales como el análisis de rutas escolares o la gestión de recursos comunitarios. Esta aproximación no solo mejoraría el rendimiento académico, sino que sentaría bases para el desarrollo de habilidades críticas en la era digital, como el procesamiento estructurado de datos. Sin embargo, el éxito de estas innovaciones depende de resolver dos limitaciones clave identificadas: la brecha tecnológica en zonas rurales y la necesidad de capacitación docente especializada, aspectos que actualmente restringen la escalabilidad de las intervenciones.

Desde una perspectiva teórica, los resultados cuestionan el paradigma tradicional que reserva el álgebra lineal para niveles universitarios, proponiendo en su lugar un modelo de espiral curricular donde los conceptos básicos se trabajen tempranamente y se profundicen en ciclos posteriores. Esta propuesta se alinea con investigaciones recientes, sobre pensamiento matemático avanzado en adolescentes (Sfard, 2008), aunque introduce un matiz crítico: la introducción de contenidos abstractos debe ir acompañada de mecanismos de evaluación formativa sólidos, que identifiquen y mitiguen sobrecargas en el procesamiento mental.

En conclusión, la investigación aporta evidencia empírica sólida sobre la eficacia de las adaptaciones didácticas del álgebra lineal en Bachillerato, particularmente mediante tecnologías interactivas y contextualización cultural. No obstante, se señalan riesgos



asociados, como la trivialización de contenidos o la falta de atención a las carencias en la preparación pedagógica del profesorado. Estos hallazgos no solo reconfiguran los límites de lo considerado "enseñable" en bachillerato, sino que establecen un precedente metodológico para futuras investigaciones que busquen democratizar el acceso a conocimientos matemáticos avanzados.

Conclusiones

Los hallazgos de esta investigación demuestran que la introducción de conceptos algebraico-lineales en el Nivel de Bachillerato es viable y beneficiosa, siempre que se implementen estrategias didácticas adaptadas al desarrollo cognitivo de los 15-17 años. La integración de herramientas tecnológicas interactivas (GeoGebra) y la contextualización de problemas reales mostraron un impacto positivo en la comprensión conceptual y la motivación estudiantil, reduciendo la ansiedad matemática en un 40%. Sin embargo, persisten desafíos críticos: los conceptos abstractos como espacios vectoriales requieren enfoques multisensoriales más robustos, y la formación docente especializada emerge como un factor determinante para escalar estas innovaciones.

Desde una perspectiva curricular, los resultados cuestionan el paradigma tradicional que reserva el álgebra lineal para niveles universitarios, proponiendo en su lugar un modelo en espiral donde los conceptos básicos se introduzcan progresivamente y se profundicen en ciclos posteriores. Esta propuesta se alinea con estudios recientes que destacan la importancia de articular la abstracción matemática con aplicaciones prácticas (Carlson, 1997; Zamora, 2008).

Recomendaciones

1. Capacitación docente continua: Diseñar programas de formación que integren metodologías activas y tecnologías educativas accesibles, priorizando el desarrollo de competencias pedagógicas específicas para álgebra lineal adaptada.



2. Diseño de materiales didácticos inclusivos: Elaborar guías con secuencias lúdicas y analogías físicas para abordar conceptos abstractos, garantizando su aplicabilidad en contextos urbanos y rurales.
3. Reforma curricular progresiva: Incorporar ejes transversales de pensamiento algebraico-lineal en los estándares de aprendizaje de Bachillerato, vinculándolos con disciplinas como la Ciencia, Tecnología, Matemática; y problemáticas locales.
4. Investigaciones longitudinales: Explorar el impacto a largo plazo de estas intervenciones en el rendimiento universitario, particularmente en carreras científicas y tecnológicas.

Referencias bibliográficas

Barraza, A. (2019). *Validación de pruebas de rendimiento académico*. UPD.

Carlson, D. (1997). Enseñando álgebra lineal: ¿Debe la niebla siempre aparecer? *College Mathematics Journal*, 28(1), 29-40. <https://doi.org/10.1080/07468342.1997.11973833>

College Board LATAM. (2024, 3 de octubre). *La importancia de las pruebas estandarizadas en la evaluación educativa*. <https://latam.collegeboard.org/2024/10/03/la-importancia-de-las-pruebas-estandarizadas-en-la-evaluacion-educativa/>



CC BY-NC-ND 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Dorier, J.-L., & Sierpinska, A. (2020). *Enseñanza del álgebra lineal a través de la modelización matemática*. Springer.

Ferrer, G., & Arregui, P. (2003). *Las pruebas internacionales de aprendizaje en América Latina y su impacto en la calidad de la educación: Criterios para guiar futuras aplicaciones*. PREAL.

Fullan, M., & Langworthy, M. (2014). *Una rica veta: Cómo las nuevas pedagogías encuentran el aprendizaje profundo*. Pearson.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.

Jiménez, R., Sureda, P., & Klempe, S. H. (2022). Innovación en la enseñanza de álgebra lineal en la educación superior. *Revista de Investigación Educativa*, 40(2), 4972-4984. <https://doi.org/10.6018/rie.498401>

León, C. C., Coello, C. B., Goyes, K. G., Barzola, J. C., & León, L. C. (2019). El Proceso Enseñanza Aprendizaje del Álgebra Lineal. Sistematización e Implicación en las Carreras de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. *Revista de Ciencias Sociales y Económicas*, 3(2), 134-155.

Ministerio de Educación de Ecuador. (2016). *Currículo de Bachillerato*. <https://educacion.gob.ec/curriculo-bachillerato/>

Miranda, S., & Ortiz, J. (2020). Los paradigmas de la investigación: un acercamiento teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21), e064. Epub 23 de abril de 2021. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.717>

Padilla, A. (2009). *Evaluaciones estandarizadas: Fundamentos y aplicaciones*. Trillas.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Niños, ordenadores e ideas poderosas*. Basic Books.

Sfard, A. (2008). *Pensar como comunicar: Desarrollo humano, el crecimiento de los discursos y matematización*. Cambridge University Press.



Unidad Educativa Talentos. (2010). *Estructura del Bachillerato*.
https://www.talentos.edu.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=3

Zamora, W. (2008). *Metodología para la enseñanza del álgebra lineal en ingeniería*.
Revista Iberoamericana de Educación Matemática, 15, 67-82.



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

