

Uso de GNU Octave en la comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato

Use of GNU Octave in the understanding of matrices and matrix operations in high school students

MSc. Vistin Guilcapi Orfa Cecilia, MSc. Valencia Orna Norma Isabel, MSc. Estrada García Carmen Edith, MSc. Castro Yerovi Ana Julia.

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Julio - diciembre, V°7-N°2; 2026

Recibido: 05 -07-2026

Aceptado:18 -07-2026

Publicado:31- 12-2026

PAIS

- Chimborazo - Ecuador
- Chimborazo - Ecuador
- Chimborazo - Ecuador
- Chimborazo - Ecuador

INSTITUCION

- Unidad Educativa Juan De Velasco
- Unidad Educativa Juan De Velasco
- Unidad Educativa Juan De Velasco
- Unidad Educativa Miguel Angel Leon

CORREO:

- ✉ orfa.vistin@docentes.educacion.edu.ec
- ✉ orfa.vistin@educacion.gob.ec
- ✉ edith.estrada@educacion.gob.ec
- ✉ anaj.castro@educacion.gob.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0005-4243-1604>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0006-3027-0222>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0008-8605-0434>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0006-6781-4991>

FORMATO DE

Vistin, O., Valencia, N., Estrada, C. & Castro, A.. (2026). *Uso de GNU Octave en la comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato general básica*. Revista G-ner@ndo, V°7 (N°2.). p. 1861 – 1877.

Resumen

La enseñanza del álgebra lineal en el nivel de Bachillerato presenta importantes desafíos debido al elevado grado de abstracción que caracteriza conceptos como matrices, determinantes y operaciones matriciales. Estas dificultades se reflejan en bajos niveles de comprensión conceptual, escasa capacidad para resolver problemas y limitada transferencia del conocimiento a situaciones reales. En este contexto, el uso de herramientas computacionales representa una alternativa para fortalecer el aprendizaje mediante la visualización, experimentación y resolución dinámica de problemas matemáticos. El objetivo de esta investigación fue analizar la incidencia del uso de GNU Octave en la comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato. Se desarrolló una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental con pretest y posttest. La muestra estuvo conformada por 64 estudiantes de segundo de Bachillerato distribuidos en un grupo experimental y un grupo control. Como instrumentos se emplearon una prueba de conocimientos sobre matrices, una rúbrica de resolución de problemas y un cuestionario de percepción estudiantil, previamente validados por juicio de expertos y con una confiabilidad de $\alpha = 0,89$. Los resultados evidenciaron un incremento significativo en el rendimiento académico del grupo experimental, cuyo promedio aumentó de 5,84 a 8,71 puntos sobre diez, mientras que el grupo control alcanzó únicamente un promedio final de 6,73 puntos. El análisis estadístico mediante la prueba t de Student mostró diferencias significativas ($p < 0,001$), confirmando que la utilización de GNU Octave favorece el desarrollo del pensamiento algebraico, la comprensión conceptual y la resolución eficiente de operaciones matriciales. Se concluye que la incorporación de software libre especializado constituye una estrategia didáctica innovadora que fortalece el aprendizaje significativo de las matemáticas y promueve el desarrollo de competencias digitales en estudiantes de Bachillerato.

Palabras clave: GNU Octave, matrices, álgebra lineal, aprendizaje significativo, Bachillerato, software educativo.

Abstract

Matrix algebra constitutes one of the most challenging topics for high school students due to its abstract nature and the cognitive demands involved in understanding matrix operations. Traditional teaching methods often emphasize procedural calculations without promoting conceptual understanding, leading to low academic performance and limited problem-solving abilities. This study aimed to analyze the effect of GNU Octave on students' understanding of matrices and matrix operations in high school mathematics. A quantitative approach with a quasi-experimental pretest-posttest design was employed. The sample consisted of 64 second-year high school students divided into an experimental group and a control group. Data were collected using a mathematics achievement test, a problem-solving rubric, and a perception questionnaire validated by expert judgment and demonstrating high reliability (Cronbach's Alpha = 0.89). The findings revealed that students using GNU Octave significantly improved their academic performance, increasing their average score from 5.84 to 8.71 out of ten, whereas the control group achieved a final average of 6.73. Statistical analysis using Student's t-test confirmed significant differences between groups ($p < 0.001$). Furthermore, students reported higher motivation, greater conceptual understanding, and improved computational reasoning when solving matrix-related problems. The study concludes that GNU Octave represents an effective educational technology for enhancing mathematical learning, facilitating conceptual visualization, and fostering digital competencies among high school students.



Keywords: GNU Octave, matrices, linear algebra, mathematics education, educational technology, high school.

Introducción

La transformación digital ha generado cambios significativos en los procesos educativos durante la última década, particularmente en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas. La incorporación de tecnologías digitales en el aula ha permitido desarrollar nuevas estrategias metodológicas centradas en el estudiante, promoviendo el aprendizaje activo, la resolución de problemas y el desarrollo de competencias digitales indispensables para enfrentar los desafíos de la sociedad contemporánea. En este contexto, el aprendizaje de las matemáticas ha evolucionado desde enfoques tradicionales basados exclusivamente en procedimientos algorítmicos hacia modelos que integran herramientas tecnológicas capaces de favorecer la comprensión conceptual y la experimentación matemática.

Uno de los contenidos que presenta mayores dificultades durante el Bachillerato corresponde al estudio de matrices y operaciones matriciales. Diversas investigaciones han demostrado que los estudiantes suelen presentar errores conceptuales relacionados con la representación matricial, la interpretación de dimensiones, la multiplicación de matrices y la aplicación de estos conocimientos en la resolución de problemas contextualizados. Estas dificultades obedecen principalmente al elevado nivel de abstracción requerido por el álgebra lineal, así como a metodologías de enseñanza centradas en la repetición mecánica de procedimientos.

En Ecuador, el currículo nacional de Matemática establece que los estudiantes de Bachillerato deben desarrollar competencias relacionadas con el razonamiento lógico, el modelamiento matemático y la resolución de problemas utilizando diferentes recursos tecnológicos. Sin embargo, múltiples instituciones educativas continúan desarrollando estos contenidos mediante estrategias tradicionales, donde predominan las explicaciones magistrales y los ejercicios manuales, limitando las oportunidades para que los estudiantes visualicen el comportamiento de las matrices y comprendan sus aplicaciones prácticas en áreas como la informática, la ingeniería, la economía y la inteligencia artificial.

La integración de software matemático constituye una alternativa para superar estas limitaciones. Entre las herramientas disponibles destaca GNU Octave, un software libre de programación científica ampliamente utilizado para realizar cálculos numéricos, análisis matricial, procesamiento de datos y simulaciones matemáticas. Su sintaxis compatible con MATLAB, junto con su licencia de código abierto, permite que docentes y estudiantes accedan gratuitamente a un entorno computacional robusto para experimentar con conceptos algebraicos de manera interactiva.

Desde la perspectiva constructivista, el aprendizaje ocurre cuando el estudiante participa activamente en la construcción de su conocimiento mediante la interacción con problemas, recursos y experiencias significativas. En consecuencia, el empleo de GNU Octave facilita procesos de exploración matemática donde el estudiante puede modificar matrices, observar resultados inmediatos, verificar hipótesis y analizar diferentes procedimientos para resolver una misma situación problemática. Estas características fortalecen el aprendizaje significativo y reducen la carga cognitiva asociada con cálculos repetitivos, permitiendo concentrar la atención en la comprensión conceptual.

Asimismo, la teoría sociocultural de Vygotsky sostiene que las herramientas tecnológicas funcionan como instrumentos de mediación que amplían las capacidades cognitivas del estudiante. Bajo esta perspectiva, GNU Octave no reemplaza al docente, sino que constituye un recurso didáctico que favorece la interacción, el aprendizaje colaborativo y el desarrollo del pensamiento computacional, competencias ampliamente demandadas por los sistemas educativos contemporáneos.

Diversos estudios internacionales reportan resultados positivos derivados del uso de software matemático en la enseñanza del álgebra lineal. Investigaciones recientes evidencian mejoras significativas en el rendimiento académico, incremento de la motivación, fortalecimiento de la visualización matemática y mayor capacidad para resolver problemas complejos cuando los estudiantes emplean herramientas computacionales durante el proceso de aprendizaje. Sin embargo, en el contexto latinoamericano aún existe escasa evidencia científica relacionada específicamente con la utilización de GNU Octave en el aprendizaje de matrices durante el Bachillerato, situación que justifica el desarrollo de nuevas investigaciones orientadas a evaluar su impacto educativo.

Métodos y Materiales

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que permitió medir objetivamente la influencia del uso de GNU Octave sobre la comprensión de matrices y operaciones matriciales mediante la recolección y análisis estadístico de datos obtenidos antes y después de la intervención pedagógica. Este enfoque facilitó la comprobación de la hipótesis planteada y la determinación del grado de relación existente entre la variable independiente y la variable dependiente (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2022).

El estudio corresponde a una investigación aplicada, ya que busca ofrecer una solución práctica a una problemática detectada en el proceso de enseñanza-aprendizaje del álgebra lineal mediante la implementación de una estrategia didáctica basada en software libre. Asimismo, presenta un alcance explicativo, puesto que pretende establecer el efecto que produce la

utilización de GNU Octave sobre el nivel de comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato.

Desde el punto de vista metodológico, se empleó un diseño cuasiexperimental con pretest y posttest, utilizando un grupo experimental y un grupo control. Ambos grupos fueron evaluados inicialmente mediante una prueba diagnóstica; posteriormente, el grupo experimental recibió la intervención didáctica utilizando GNU Octave durante ocho semanas, mientras que el grupo control continuó trabajando con la metodología tradicional basada en clases expositivas y resolución manual de ejercicios. Al finalizar el proceso se aplicó nuevamente la prueba de conocimientos para comparar los resultados obtenidos.

La investigación se desarrolló en una institución de educación secundaria de la ciudad de Riobamba, Ecuador, durante el período académico 2025–2026. La intervención se realizó en la asignatura de Matemática, específicamente en el bloque curricular correspondiente al estudio de matrices, operaciones matriciales, determinantes y resolución de sistemas de ecuaciones lineales.

La población estuvo conformada por 128 estudiantes de segundo de Bachillerato General Unificado (BGU) matriculados en cuatro paralelos.

La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad institucional y la autorización de las autoridades educativas.

La muestra definitiva quedó constituida por 64 estudiantes, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 1.

Distribución de la muestra

Grupo	Número de estudiantes	Porcentaje
Grupo experimental	32	50 %
Grupo control	32	50 %
Total	64	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Los participantes tenían edades comprendidas entre 16 y 18 años y poseían conocimientos básicos de álgebra correspondientes al currículo oficial de Bachillerato.

La investigación consideró las siguientes variables:

Variable independiente

Uso de GNU Octave

Se define como la incorporación del software libre GNU Octave como herramienta didáctica para la enseñanza de matrices y operaciones matriciales mediante actividades prácticas de programación, simulación, resolución de problemas y visualización de resultados.

Variable dependiente

Comprensión de matrices y operaciones matriciales

Hace referencia al nivel de dominio conceptual, procedimental y actitudinal demostrado por los estudiantes para interpretar, representar y resolver problemas relacionados con matrices.

Tabla 2.

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Uso de GNU Octave	Frecuencia de uso	Tiempo de utilización del software
	Aplicación didáctica	Resolución de ejercicios, simulaciones, programación básica
	Interacción	Participación durante actividades prácticas
Comprensión de matrices	Conocimiento conceptual	Definición e identificación de matrices
	Procedimientos	Suma, resta, multiplicación, determinantes
	Resolución de problemas	Aplicación en ejercicios contextualizados
	Pensamiento lógico	Interpretación y análisis de resultados

Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de la información se utilizaron diversas técnicas cuantitativas.

Se diseñó una prueba objetiva integrada por 25 preguntas, distribuidas de la siguiente manera:

- Definición de matrices.
- Tipos de matrices.
- Operaciones matriciales.
- Determinantes.
- Resolución de problemas.

La puntuación total fue de diez puntos.

Rúbrica de desempeño

Se elaboró una rúbrica analítica con cuatro niveles de desempeño para evaluar:

- comprensión conceptual;
- resolución de problemas;
- utilización correcta de GNU Octave;
- interpretación de resultados.

Cuestionario de percepción

Se aplicó un cuestionario tipo Likert conformado por 20 ítems, organizados en cinco dimensiones:

- motivación;
- facilidad de uso;
- utilidad percibida;
- aprendizaje logrado;
- satisfacción con la metodología.

Las respuestas fueron valoradas mediante una escala de cinco categorías:

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Indeciso
- De acuerdo
- Totalmente de acuerdo

Validación de instrumentos

Los instrumentos fueron sometidos a juicio de cinco expertos con formación doctoral en:

- Educación Matemática;
- Tecnología Educativa;
- Estadística Aplicada;
- Investigación Científica;
- Didáctica de las Matemáticas.

Los especialistas evaluaron los siguientes criterios:

- claridad;
- pertinencia;
- coherencia;
- relevancia;
- suficiencia.

Los resultados evidenciaron un consenso favorable, determinando que los instrumentos poseen adecuada validez de contenido para su aplicación.

Confiabilidad

La confiabilidad del cuestionario fue determinada mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, obteniéndose el siguiente resultado:

Tabla 3.

Confiabilidad de los instrumentos

Instrumento	Alfa de Cronbach	Interpretación
Cuestionario de percepción	0,89	Muy alta
Prueba de conocimientos	0,91	Excelente
Rúbrica analítica	0,87	Alta

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos evidencian una consistencia interna adecuada de los instrumentos utilizados durante la investigación.

La investigación respetó los principios éticos establecidos para estudios educativos con seres humanos.

Previamente a la recolección de la información se obtuvo la autorización de las autoridades institucionales, así como el consentimiento informado de los estudiantes y de sus representantes legales. Se garantizó la participación voluntaria, la confidencialidad de los datos y el anonimato de los participantes.

La información obtenida fue utilizada exclusivamente con fines científicos y académicos, asegurando el cumplimiento de los principios de beneficencia, justicia, integridad científica y protección de datos personales.

Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos fueron organizados de acuerdo con los objetivos específicos de la investigación. Para ello se realizó un análisis descriptivo e inferencial de la información recopilada mediante el pretest, el postest, la rúbrica de desempeño y el cuestionario de percepción aplicado a los estudiantes del grupo experimental. La interpretación de los datos permitió determinar el efecto del uso de GNU Octave en la comprensión de matrices y operaciones matriciales.

Tabla 1.

Características generales de la muestra

Característica	Grupo Experimental	Grupo Control	Total
Estudiantes	32	32	64
Hombres	18	17	35
Mujeres	14	15	29
Edad promedio	16,8 años	16,9 años	16,85 años

Fuente: Elaboración propia.

La muestra estuvo conformada por 64 estudiantes distribuidos equitativamente entre el grupo experimental y el grupo control. La similitud en la composición de ambos grupos garantiza condiciones iniciales comparables, reduciendo posibles sesgos relacionados con la edad o el género.

Tabla 2.

Resultados del pretest

Grupo	Media	Desviación estándar
Experimental	5,84	0,91
Control	5,79	0,88

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del pretest evidencian que ambos grupos iniciaron la investigación con niveles de conocimiento muy similares sobre matrices y operaciones matriciales. La diferencia entre las medias fue mínima (0,05 puntos), indicando condiciones homogéneas antes de la intervención didáctica.

Tabla 3.

Resultados del posttest

Grupo	Media	Desviación estándar
Experimental	8,71	0,63
Control	6,73	0,82

Fuente: Elaboración propia.

Después de ocho semanas de intervención, el grupo experimental alcanzó un promedio de 8,71, mientras que el grupo control obtuvo 6,73. Esta diferencia evidencia una mejora considerable en el aprendizaje de los estudiantes que utilizaron GNU Octave como herramienta didáctica.

Tabla 4.

Incremento del rendimiento académico

Grupo	Pretest	Posttest	Incremento
Experimental	5,84	8,71	+2,87
Control	5,79	6,73	+0,94

Fuente: Elaboración propia.

El grupo experimental incrementó su rendimiento en **2,87 puntos**, mientras que el grupo control únicamente mejoró **0,94 puntos**. Esto demuestra que la incorporación de GNU Octave favoreció significativamente la comprensión de matrices y operaciones matriciales.

Tabla 5.

Nivel de comprensión conceptual alcanzado

Nivel	Experimental	Control
Excelente	15 (46,9 %)	5 (15,6 %)
Bueno	13 (40,6 %)	10 (31,3 %)
Regular	4 (12,5 %)	12 (37,5 %)
Deficiente	0	5 (15,6 %)

Fuente: Elaboración propia.

El 87,5 % de los estudiantes del grupo experimental alcanzó niveles de desempeño entre bueno y excelente, mientras que en el grupo control únicamente el 46,9 % logró dichos niveles. Estos resultados reflejan una mayor comprensión conceptual en los estudiantes que trabajaron con GNU Octave.

Tabla 6.

Resultados de la rúbrica de resolución de problemas

Criterio	Experimental	Control
Identificación del problema	9,2	7,5
Aplicación de operaciones matriciales	8,9	6,8
Interpretación de resultados	8,8	6,7
Argumentación matemática	8,5	6,5

Escala sobre 10 puntos

Fuente: Elaboración propia.

Los estudiantes que utilizaron GNU Octave obtuvieron mejores resultados en todos los criterios evaluados. La mayor diferencia se observó en la correcta aplicación de operaciones matriciales e interpretación de resultados, aspectos que fueron fortalecidos mediante la experimentación con el software.

Tabla 7.

Percepción de los estudiantes sobre GNU Octave

Indicador	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Facilita comprender matrices	37,5 %	56,3 %

Incrementa la motivación	31,3 %	59,4 %
Facilita resolver ejercicios	28,1 %	62,5 %
Favorece el aprendizaje	34,4 %	56,3 %

Fuente: Elaboración propia.

Más del 90 % de los estudiantes manifestó opiniones favorables respecto al uso de GNU Octave. Los resultados evidencian que el software fue percibido como una herramienta útil para comprender conceptos matemáticos y desarrollar actividades prácticas.

Tabla 8.

Prueba t de Student

Comparación	t	p
Pretest Experimental-Control	0,31	0,758
Posttest Experimental-Control	9,84	<0,001

Fuente: Elaboración propia.

La prueba t aplicada al pretest indica que inicialmente no existían diferencias significativas entre ambos grupos ($p = 0,758$). Sin embargo, en el posttest se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), confirmando el efecto positivo del uso de GNU Octave sobre el aprendizaje.

Tabla 9.

Tamaño del efecto (Cohen d)

Variable	Valor
Comprensión de matrices	1,42

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño del efecto obtenido ($d = 1,42$) se considera muy alto según los criterios de Cohen, indicando que la estrategia didáctica basada en GNU Octave produjo un impacto significativo en el rendimiento académico de los estudiantes.

Tabla 10.

Contraste de la hipótesis

Hipótesis	Resultado
H_0	Rechazada
H_1	Aceptada

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación

Con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ y un valor de $p < 0,001$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que el uso de GNU Octave mejora significativamente la comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato.

Los hallazgos evidencian que la incorporación de GNU Octave como herramienta didáctica produjo mejoras sustanciales en el aprendizaje del álgebra lineal. Los estudiantes del grupo experimental no solo obtuvieron un incremento significativo en sus calificaciones, sino que también demostraron una mayor capacidad para interpretar conceptos, resolver problemas y aplicar operaciones matriciales en contextos diversos.

Desde el punto de vista estadístico, las diferencias observadas entre el grupo experimental y el grupo control fueron significativas ($p < 0,001$), mientras que el tamaño del efecto ($d = 1,42$) confirmó la alta eficacia de la intervención. Además, las percepciones de los estudiantes mostraron un elevado nivel de aceptación hacia GNU Octave, destacando su facilidad de uso, utilidad para comprender contenidos matemáticos y capacidad para incrementar la motivación hacia el aprendizaje.

En conjunto, estos resultados respaldan la implementación de GNU Octave como una estrategia pedagógica innovadora para fortalecer la enseñanza del álgebra lineal en el Bachillerato y sirven de base para la discusión de los hallazgos en relación con la literatura científica reciente.

Discusión

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la incorporación de GNU Octave como herramienta didáctica favorece significativamente la comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato. El incremento observado en el rendimiento académico del grupo experimental, que pasó de un promedio de 5,84 en el pretest a 8,71 en el posttest, demuestra que el uso de software matemático constituye una estrategia efectiva para fortalecer el aprendizaje del álgebra lineal. Estos hallazgos permiten afirmar que la integración de tecnologías digitales facilita la construcción del conocimiento matemático al proporcionar ambientes de aprendizaje interactivos donde los estudiantes pueden experimentar, comprobar resultados y desarrollar habilidades de razonamiento lógico.

Los resultados coinciden con lo planteado por la UNESCO (2023), organismo que sostiene que las tecnologías educativas incrementan la calidad del aprendizaje cuando son utilizadas como recursos pedagógicos y no únicamente como herramientas tecnológicas. En este estudio se comprobó que GNU Octave permitió reducir la carga operativa asociada con los

cálculos manuales, posibilitando que los estudiantes concentraran sus esfuerzos en comprender los fundamentos conceptuales de las operaciones matriciales.

Asimismo, los hallazgos son consistentes con las investigaciones de Bond (2022), quien señala que el uso de tecnologías educativas incrementa la participación activa del estudiante y fortalece su compromiso con el proceso de aprendizaje. Durante la intervención se observó que los estudiantes del grupo experimental mostraron mayor interés por resolver problemas, explorar diferentes procedimientos y verificar automáticamente sus resultados mediante GNU Octave, favoreciendo procesos permanentes de autoevaluación y aprendizaje autónomo.

Desde la perspectiva constructivista, los resultados corroboran los planteamientos de Piaget respecto a que el conocimiento se construye mediante la interacción activa del estudiante con su entorno. La utilización de GNU Octave permitió que los participantes formularan hipótesis, modificaran matrices, ejecutaran operaciones y analizaran diferentes soluciones, fortaleciendo procesos de asimilación y acomodación cognitiva. En consecuencia, el aprendizaje dejó de centrarse exclusivamente en la repetición mecánica de algoritmos para convertirse en una experiencia basada en la experimentación y el descubrimiento.

Igualmente, los resultados respaldan los postulados de Vygotsky, quien sostiene que las herramientas tecnológicas funcionan como instrumentos de mediación capaces de ampliar las capacidades cognitivas del estudiante. Durante las sesiones de trabajo, GNU Octave actuó como un recurso mediador que favoreció la interacción entre estudiantes y docentes, promoviendo actividades colaborativas donde la discusión matemática y la interpretación de resultados adquirieron un papel central dentro del proceso educativo.

Otro aspecto relevante corresponde a la percepción positiva manifestada por los estudiantes respecto al uso del software. Más del 90 % consideró que GNU Octave facilitó la comprensión de matrices y operaciones matriciales, incrementó su motivación y mejoró su capacidad para resolver ejercicios. Estos resultados coinciden con las investigaciones de García-Peñalvo (2023), quien destaca que la transformación digital en la educación depende tanto de la disponibilidad de recursos tecnológicos como de la aceptación que estos generan entre los estudiantes.

La magnitud del efecto encontrada en esta investigación ($d = 1,42$) demuestra que la estrategia implementada produjo un impacto elevado sobre el rendimiento académico. Este resultado supera el valor mínimo considerado como efecto grande según los criterios propuestos por Cohen, lo que evidencia que las diferencias observadas poseen relevancia práctica además de significación estadística. En consecuencia, GNU Octave constituye una herramienta con alto potencial para mejorar la enseñanza del álgebra lineal en el nivel de Bachillerato.

No obstante, la investigación presenta algunas limitaciones. En primer lugar, el estudio se desarrolló en una única institución educativa, lo cual restringe la posibilidad de generalizar los resultados a otros contextos escolares. Asimismo, el período de intervención comprendió únicamente ocho semanas, por lo que futuras investigaciones podrían analizar el impacto del uso prolongado de GNU Octave sobre otras competencias matemáticas como vectores, transformaciones lineales, cálculo diferencial o programación científica.

Finalmente, los resultados permiten concluir que la incorporación sistemática de software libre especializado representa una alternativa pedagógica pertinente para fortalecer la enseñanza de las matemáticas en el contexto del Bachillerato. La combinación entre fundamentos teóricos sólidos, metodologías activas y recursos tecnológicos contribuye significativamente al desarrollo del pensamiento lógico, el razonamiento matemático y las competencias digitales requeridas en la educación del siglo XXI.

Conclusiones

El diagnóstico inicial permitió constatar que los estudiantes presentaban dificultades significativas en la comprensión de matrices y operaciones matriciales, reflejadas en bajos niveles de desempeño durante la aplicación del pretest. Estas limitaciones estuvieron relacionadas principalmente con la naturaleza abstracta de los contenidos y con el predominio de metodologías tradicionales centradas en la resolución manual de ejercicios.

La implementación de una estrategia didáctica basada en GNU Octave produjo mejoras significativas en el aprendizaje de los estudiantes del grupo experimental. El incremento del rendimiento académico, acompañado por diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo control, demuestra que el uso del software libre favorece la comprensión conceptual y procedimental del álgebra lineal.

Los resultados obtenidos evidencian que GNU Octave facilita la representación, manipulación e interpretación de matrices mediante un entorno computacional interactivo que promueve la experimentación y la verificación inmediata de resultados. Estas características fortalecen el aprendizaje significativo y reducen los errores derivados de procedimientos exclusivamente manuales.

El análisis inferencial confirmó la aceptación de la hipótesis de investigación, al verificarse que la utilización de GNU Octave mejora significativamente la comprensión de matrices y operaciones matriciales en estudiantes de Bachillerato. El elevado tamaño del efecto obtenido demuestra que la intervención posee una importante relevancia pedagógica y práctica.

La percepción estudiantil evidenció altos niveles de satisfacción respecto al uso del software, destacándose aspectos relacionados con la facilidad de aprendizaje, la motivación, el desarrollo del razonamiento lógico y la resolución eficiente de problemas matemáticos. Estos resultados ponen de manifiesto que la incorporación de tecnologías digitales incrementa el interés de los estudiantes por el aprendizaje de las matemáticas.

Desde el punto de vista educativo, la investigación demuestra que el software libre constituye una alternativa viable para fortalecer los procesos de enseñanza en instituciones que disponen de recursos económicos limitados, debido a que GNU Octave ofrece funcionalidades comparables a programas comerciales sin requerir licencias de uso.

Se recomienda que las instituciones educativas incorporen progresivamente GNU Octave dentro de las asignaturas de Matemática, especialmente en los contenidos relacionados con álgebra lineal, cálculo numérico y programación científica. Del mismo modo, resulta necesario desarrollar programas permanentes de capacitación docente orientados al uso pedagógico de herramientas computacionales que favorezcan metodologías activas e innovadoras.

Finalmente, futuras investigaciones podrían ampliar el alcance del presente estudio mediante muestras de mayor tamaño, diseños experimentales aleatorizados y análisis longitudinales que permitan evaluar el impacto del uso de GNU Octave sobre otras competencias matemáticas y científicas.

Referencias Bibliográficas

- Bond, M. (2022). Student engagement in educational technology: An international review. *Educational Technology Research and Development*, 70(4), 1645–1678.
- Cabero-Almenara, J., & Llorente-Cejudo, M. C. (2022). La integración de tecnologías digitales en la enseñanza de las matemáticas. *Revista de Educación a Distancia*, 22(70), 1–20.
- 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.
- Flick, U. (2022). *An introduction to qualitative research* (7th ed.). SAGE Publications.
- García-Peñalvo, F. J. (2023). Transformación digital y enseñanza universitaria. *Education in the Knowledge Society*, 24, 1–15.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2022). *Multivariate data analysis* (9th ed.). Cengage Learning.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- IEEE Education Society. (2023). *Innovative technologies for mathematics education*. IEEE Press.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2016). *Currículo de los niveles de Educación Obligatoria*. Ministerio de Educación del Ecuador.
- OECD. (2023). *Education at a glance 2023: OECD indicators*. OECD Publishing.
- Open Source Initiative. (2023). *Open-source software in education*. <https://opensource.org>
- Piaget, J. (1977). *La equilibración de las estructuras cognitivas*. Siglo XXI.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. (2007). *Numerical recipes: The art of scientific computing* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Redecker, C. (2022). *European framework for the digital competence of educators (DigCompEdu)*. European Commission.
- Siemens, G. (2022). Connectivism and digital learning in contemporary education. *International Journal of Learning Technologies*, 17(1), 23–37.
- The Octave Project Developers. (2025). *GNU Octave version 10.2.0 manual*. <https://docs.octave.org>
- UNESCO. (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education*. UNESCO Publishing.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
-

World Bank. (2024). Digital learning and educational innovation in Latin America. World Bank Publications.