

## Estrategia didáctica asistida por Software Matemático en el proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial en Álgebra Lineal para ingeniería

Mathematical Software-Assisted Didactic Strategy in the Teaching-Learning Process of the Cross Product in Linear Algebra for Engineering Education

Jefferson Agustín Macías Bravo<sup>1</sup>

Ulbio Colón Durán Pico<sup>2</sup>

Jesús Jhinson Moreira Vélez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Posgrado, Portoviejo – Ecuador, Correo: jmacias5287@utm.edu.ec, Código Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-5616-408X>

<sup>2</sup>Universidad Técnica de Manabí - Facultad de Ciencias Básicas – Departamento de Matemáticas y Estadística- Portoviejo – Ecuador, [ulbio.duran@utm.edu.ec](mailto:ulbio.duran@utm.edu.ec), Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3752-3126>

<sup>3</sup>Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias de la Educación – Departamento de Pedagogía, Portoviejo – Ecuador, Correo: [jesus.moreira@utm.edu.ec](mailto:jesus.moreira@utm.edu.ec), Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9998-6724>

Contacto: [jmacias5287@utm.edu.ec](mailto:jmacias5287@utm.edu.ec)

Recibido: 27 de febrero de 2026

Aprobado: 28 de mayo de 2026

### Resumen

El aprendizaje del producto vectorial representa un desafío en la formación matemática de ingenieros, debido a la dificultad para articular sus registros algebraico y geométrico. La presente investigación tuvo como objetivo analizar la influencia de una estrategia didáctica asistida por software matemático en el proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial en estudiantes de Álgebra Lineal de ingeniería. Se desarrolló un estudio cuantitativo con diseño cuasiexperimental transeccional, en el que participaron 117 estudiantes de la Universidad Técnica de Manabí (Ecuador), asignados a un grupo control ( $n = 58$ , metodología tradicional) y un grupo experimental ( $n = 59$ , estrategia asistida por GNU Octave y MATLAB Mobile). Se aplicó una prueba estructurada de rendimiento y una encuesta de percepción tipo Likert. Los resultados mostraron que el grupo experimental obtuvo una media significativamente superior (6.97 vs. 5.21;  $t(115) = -2.59$ ,  $p = .011$ ), con un tamaño del efecto de magnitud pequeña-media ( $d = 0.48$ ). La tasa de aprobación (nota  $\geq 7$ ) fue del 69.49 % en el grupo experimental frente al 50.00 % en el control. Las percepciones estudiantiles fueron favorables (medias: 3.37–3.40/5), destacando la utilidad del software y la motivación académica, y el instrumento de percepción mostró consistencia interna excelente ( $\alpha$  global = 0.9892). Se concluye que la estrategia didáctica asistida por software matemático mejoró significativamente el rendimiento académico y generó percepciones positivas en el aprendizaje del producto vectorial, lo que respalda la integración de herramientas de visualización dinámica y contextualización disciplinar en la enseñanza de álgebra lineal para ingeniería.

**Palabras clave:** Producto vectorial, álgebra lineal, software matemático, estrategia didáctica, educación en ingeniería, GNU Octave, MATLAB Mobile.

### Abstract

Learning the cross product represents a challenge in the mathematical training of engineers, due to the difficulty in articulating its algebraic and geometric registers. This study aimed to analyze the influence of a didactic strategy assisted by mathematical software on the teaching-learning process of the cross product in Linear Algebra for engineering students. A quantitative study with a cross-sectional quasi-experimental design was conducted with 117 engineering students from



the Universidad Técnica de Manabí (Ecuador), assigned to a control group ( $n = 58$ , traditional methodology) and an experimental group ( $n = 59$ , strategy assisted by GNU Octave and MATLAB Mobile). A structured performance test and a Likert-type perception survey were administered. Results showed that the experimental group obtained a significantly higher meaning ( $6.97$  vs.  $5.21$ ;  $t(115) = -2.59$ ,  $p = .011$ ), with a small-to-medium effect size ( $d = 0.48$ ). The approval rate (grade  $\geq 7$ ) was  $69.49\%$  in the experimental group versus  $50.00\%$  in the control group. Student perceptions were favorable (means:  $3.37$ – $3.40/5$ ), highlighting software utility and academic motivation, and the perception instrument showed excellent internal consistency (global  $\alpha = 0.9892$ ). It is concluded that the didactic strategy assisted by mathematical software significantly improved academic performance and generated positive perceptions in learning the cross product, supporting the integration of dynamic visualization tools and disciplinary contextualization in Linear Algebra instruction for engineering.

**Keywords:** *Cross product, linear algebra, mathematical software, didactic strategy, engineering education, GNU Octave, MATLAB Mobile.*

### **Introducción**

El aprendizaje del producto vectorial constituye uno de los desafíos más significativos en la formación matemática de estudiantes de ingeniería, debido a su naturaleza abstracta y a la necesidad de articular razonamientos algebraicos, geométricos y aplicados. Esta dificultad se acentúa en contextos educativos donde la enseñanza tradicional prioriza el formalismo simbólico sobre la visualización espacial, limitando la construcción de significado profundo en conceptos fundamentales del álgebra lineal.

Investigaciones recientes han demostrado que el desarrollo de habilidades de razonamiento espacial es un predictor consistente del éxito académico en disciplinas de Ciencia, Ingeniería, Matemáticas y Tecnología; especialmente en cursos que requieren manipulación mental de objetos en tres dimensiones. Sin embargo, muchos estudiantes de ingeniería ingresan a la educación superior con deficiencias en estas competencias, lo que afecta su desempeño en asignaturas como Álgebra Lineal, Cálculo Vectorial, Cálculo Infinitesimal y Física.

En este contexto, la integración de software matemático en el proceso de enseñanza-aprendizaje representa una estrategia prometedora para superar las barreras cognitivas asociadas a la abstracción vectorial. Herramientas como GNU Octave y MATLAB Mobile permiten generar representaciones tridimensionales dinámicas, verificar cálculos algebraicos en tiempo real y explorar aplicaciones contextualizadas en problemas de ingeniería. Estudios sistemáticos han confirmado que el uso de entornos tecnológicos interactivos mejora significativamente los resultados de aprendizaje en matemáticas para ingeniería, especialmente cuando se articulan con diseños pedagógicos basados en la indagación y la resolución de problemas (Juandi et al., 2021). La visualización dinámica emerge como un componente crítico para facilitar la transición entre el registro simbólico y la interpretación geométrica del producto vectorial. La posibilidad de manipular vectores en espacios tridimensionales, observar el paralelogramo generado y visualizar el vector resultante perpendicular fortalece la comprensión conceptual y reduce la carga cognitiva asociada a la abstracción matemática. Además, la accesibilidad de MATLAB Mobile en dispositivos móviles permite extender las prácticas de aprendizaje más allá del aula, promoviendo el estudio autónomo y colaborativo, una tendencia consolidada en la educación en ingeniería postpandemia (Ruiz Loza et al., 2022).

A pesar del potencial reconocido de estas herramientas, existen brechas en la literatura respecto a su implementación específica para el proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial en contextos de Educación Superior en Latinoamérica. La mayoría de los estudios se han centrado en software comercial o en niveles educativos previos a la universidad, dejando un vacío en la evidencia sobre estrategias didácticas que integren herramientas de código abierto como GNU Octave con plataformas móviles accesibles.

Por lo anterior, esta investigación tuvo como propósito analizar la influencia de una estrategia didáctica asistida por software matemático en el aprendizaje del producto vectorial en estudiantes de Álgebra Lineal en las carreras de ingeniería en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



de la Universidad Técnica de Manabí. Específicamente, se buscó: (1) comparar el rendimiento académico entre un grupo que recibió la intervención tecnológica y un grupo con metodología tradicional; (2) evaluar la percepción estudiantil respecto a la utilidad, motivación y aplicabilidad de la estrategia; y (3) validar un instrumento multidimensional para medir experiencias de aprendizaje mediadas por tecnología en educación matemática para ingeniería.

Los hallazgos de este estudio aportan evidencia sobre la efectividad de integrar GNU Octave y MATLAB Mobile en la enseñanza del álgebra lineal, ofreciendo referentes pedagógicos y metodológicos para docentes e instituciones que buscan innovar en la formación matemática de ingenieros con recursos tecnológicos accesibles y sostenibles.

### **Materiales y Métodos**

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, dado que el propósito del estudio requirió medir de forma objetiva y numérica la influencia de una estrategia didáctica asistida por software matemático sobre el rendimiento académico en el aprendizaje del producto vectorial. Este enfoque permitió recolectar datos estructurados mediante instrumentos estandarizados (prueba de rendimiento y escala Likert), someterlos a análisis estadístico descriptivo e inferencial, y contrastar hipótesis preestablecidas sobre la relación entre la variable independiente (estrategia didáctica con mediación tecnológica) y la variable dependiente (proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial) (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). La naturaleza del problema de investigación, orientado a comparar grupos, cuantificar diferencias en calificaciones, estimar tamaños de efecto y validar psicométricamente un instrumento de percepción, justificó la selección del paradigma cuantitativo, el cual privilegia la medición estandarizada, la prueba de hipótesis y la generalización controlada de resultados a partir de evidencia empírica.

El diseño fue cuasiexperimental, ya que la intervención se aplicó a grupos intactos previamente conformados, sin asignación aleatoria de los participantes, comparándose posteriormente los resultados académicos entre un grupo intervenido y un grupo no intervenido (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). El alcance fue transeccional o transversal, dado que permitió recolectar los datos en un solo momento para describir las variables de la investigación, y cuyo propósito fue analizar la influencia de una estrategia didáctica asistida por software matemático en el proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial en estudiantes de Álgebra Lineal de ingeniería. El estudio se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica de Manabí durante el segundo período académico del año 2025, específicamente en la fase de fin de ciclo de la asignatura Álgebra Lineal. La intervención se desarrolló en la semana 10 del calendario académico (24 al 28 de noviembre de 2025), mientras que la evaluación final se ejecutó en la semana 11 (1 al 5 de diciembre de 2025). La selección del momento de aplicación respondió a criterios pedagógicos, ya que los estudiantes habían abordado previamente contenidos relacionados con vectores en  $\mathbb{R}^3$ , lo que permitió que la estrategia funcionara como instancia de consolidación conceptual y transferencia aplicada.

Participaron dos cursos regulares del mismo nivel académico: el curso A (58 estudiantes) y el curso B (59 estudiantes), totalizando 117 participantes. Ambos grupos estuvieron integrados por estudiantes de Ingeniería Civil, Ingeniería Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería en Biotecnología, Ingeniería en Alimentos e Ingeniería en Geología. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, dado que se trabajó con los cursos oficialmente asignados al docente.

En la estructura comparativa del diseño, el curso A funcionó como grupo de comparación (metodología tradicional sin mediación tecnológica), mientras que el curso B constituyó el grupo experimental, en el cual se implementó la estrategia didáctica asistida por software matemático. La variable independiente fue la estrategia didáctica cuyo principal recurso fueron las herramientas tecnológicas, estructurada mediante integración conceptual, resolución de problemas y simulación computacional, dicha variable fue media a través de una encuesta con escala de Likert validada con el indicador Alpha de Cronbach. La variable dependiente

correspondió al proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial, medido a través del rendimiento académico en una prueba estructurada de fin de ciclo.

La intervención en el grupo experimental se desarrolló en una sesión presencial de 180 minutos. Se trabajó la definición formal del producto vectorial, sus propiedades algebraicas, su relación con el determinante de orden tres y su interpretación geométrica como vector perpendicular y como área del paralelogramo generado por dos vectores. Se incorporaron aplicaciones contextualizadas en distintas áreas de la ingeniería: cálculo de torque en Ingeniería Mecánica, análisis vectorial de fuerzas en Ingeniería Civil, modelado de campos electromagnéticos en Ingeniería Eléctrica, representación espacial de sistemas tridimensionales en Ingeniería Industrial, modelado geométrico en Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, y determinación de vectores normales a planos en Ingeniería Geológica.

Desde el punto de vista computacional, se empleó GNU Octave en computadoras portátiles y MATLAB Mobile en dispositivos móviles, permitiendo la verificación algebraica y la visualización tridimensional dinámica. La mediación tecnológica se sustentó en la premisa de que la visualización favorece la construcción de significado en objetos matemáticos abstractos (Borba y Villarreal, 2005).

La evaluación final consistió en una prueba estructurada de 120 minutos aplicada simultáneamente a ambos grupos. El instrumento evaluó tres dimensiones: razonamiento algebraico, comprensión geométrica y aplicación contextual en problemas de ingeniería.

Se aplicó al grupo experimental una encuesta estructurada tipo Likert al finalizar la evaluación escrita, con el propósito de evaluar la percepción estudiantil sobre la estrategia didáctica asistida por herramientas tecnológicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial. El instrumento, denominado Escala de Percepción sobre la Estrategia Didáctica Asistida por Herramientas Tecnológicas en el Aprendizaje del Producto Vectorial, estuvo conformado por 15 ítems organizados en cinco dimensiones:

- La claridad conceptual, evaluó la comprensión de los fundamentos teóricos y la interpretación algebraico-geométrica del producto vectorial.
- La visualización tridimensional, midió el impacto de la representación gráfica espacial y del paralelogramo en la comprensión del concepto;
- la utilidad del software, analizó el apoyo tecnológico en la verificación de resultados, optimización de procedimientos y eficiencia en la resolución de ejercicios.
- La aplicación en ingeniería, valoró la transferencia del contenido matemático a contextos propios de la formación profesional.
- La motivación académica, examinó el nivel de interés, participación y aceptación metodológica generado por la estrategia implementada.

Las respuestas se registraron en una escala ordinal de cinco niveles (1 = Totalmente en desacuerdo; 2 = En desacuerdo; 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 = De acuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo). La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el coeficiente alfa de Cronbach calculado por dimensiones, considerando la naturaleza multidimensional del constructo.

La consistencia interna del instrumento fue evaluada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, calculado con el propósito de determinar la confiabilidad del instrumento. El coeficiente  $\alpha$  se obtuvo a partir de la varianza total de la encuesta y la varianza de los ítems individuales, siguiendo la formulación clásica de Cronbach. Valores superiores a 0,80 fueron considerados indicadores de alta consistencia interna (Cronbach, 1951).

De acuerdo con el diseño cuasiexperimental planteado y la operacionalización de variables descrita previamente, se establecieron las siguientes hipótesis estadísticas para el contraste de grupos:

**Hipótesis nula ( $H_0$ ).** No existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento académico sobre el producto vectorial entre estudiantes que reciben instrucción bajo metodología tradicional y aquellos que participan en una estrategia didáctica asistida por software matemático,

es decir,  $\mu_1 = \mu_2$ , donde  $\mu_1$  representa la media poblacional del grupo de control y  $\mu_2$  la media poblacional del grupo experimental.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ).** Los estudiantes que reciben la estrategia didáctica asistida por software matemático (GNU Octave y MATLAB Mobile) obtienen un rendimiento académico significativamente superior en la evaluación del producto vectorial, en comparación con el grupo que recibe instrucción tradicional, es decir,  $\mu_1 < \mu_2$ .

El contraste de hipótesis se realizó mediante la prueba t de Student para muestras independientes, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , previa verificación del supuesto de normalidad de los residuos mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Dado que la prueba t es robusta frente a violaciones moderadas de normalidad cuando los tamaños muestrales son similares y superiores a 30 (Field, 2018), se mantuvo el criterio paramétrico conforme al plan analítico preestablecido. Adicionalmente, se estimó el tamaño del efecto mediante el estadístico d de Cohen (Cohen, 1988) con el propósito de determinar la magnitud práctica de las diferencias observadas, independientemente de su significancia estadística.

La decisión estadística se basó en el valor p asociado al estadístico de prueba: si  $p < 0.05$ , se rechazó la hipótesis nula en favor de la alternativa; en caso contrario, se mantuvo  $H_0$ . Esta formulación hipotética guarda coherencia con el enfoque cuantitativo y el alcance explicativo del estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

El análisis de datos se realizó en el entorno Google Colab mediante el lenguaje de programación Python, empleando bibliotecas estadísticas especializadas para procesamiento y análisis de datos. Se calcularon estadísticas descriptivas (media, mediana, desviación estándar, mínimo y máximo), intervalos de confianza al 95 %, frecuencias y porcentajes de aprobación. Para el contraste entre grupos se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes, previa verificación del supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Asimismo, se estimó el tamaño de efecto mediante el estadístico d de Cohen con el fin de determinar la magnitud práctica de las diferencias observadas.

Este procedimiento permitió no solo describir el rendimiento académico de cada grupo, sino también identificar diferencias estadísticamente significativas atribuibles a la implementación de la estrategia didáctica asistida por software matemático.

## Resultados

### Análisis descriptivo del rendimiento académico

El rendimiento académico en la prueba de producto vectorial fue analizado para ambos grupos de estudio.

La Tabla 1 presenta las estadísticas descriptivas completas.

Grupo	N	Media	Mediana	DE	IC 95%	% Aprobados
Clase A (Tradicional)	58	5.21	6.5	4.10	[4.13, 6.29]	50.00
Clase B (Software)	59	6.97	8.0	3.19	[6.13, 7.80]	69.49

Tabla 1: Estadísticas descriptivas del rendimiento académico por grupo.

Nota: DE = Desviación estándar; IC = Intervalo de confianza

El grupo experimental (Clase B), que recibió la intervención con software matemático, obtuvo una media de 6.97 (DE = 3.19), superior a la media del grupo de control (Clase A) de 5.21 (DE = 4.10). La mediana del grupo experimental (8.0) también superó a la del grupo tradicional (6.5), evidenciando una tendencia central más favorable.

El porcentaje de estudiantes que aprobaron la prueba (nota  $\geq 7$ ) fue del 69.49% en el grupo experimental, comparado con el 50.00% en el grupo de control, lo que representa una mejora de 19.49 puntos porcentuales a favor de la estrategia asistida por software.

**Distribución de calificaciones**

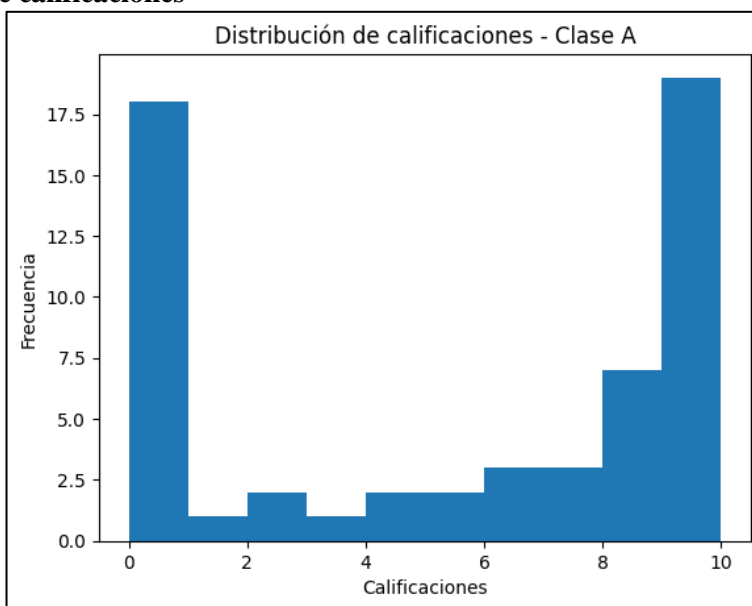


Figura 1: Distribución de calificaciones - Clase A (Metodología tradicional).

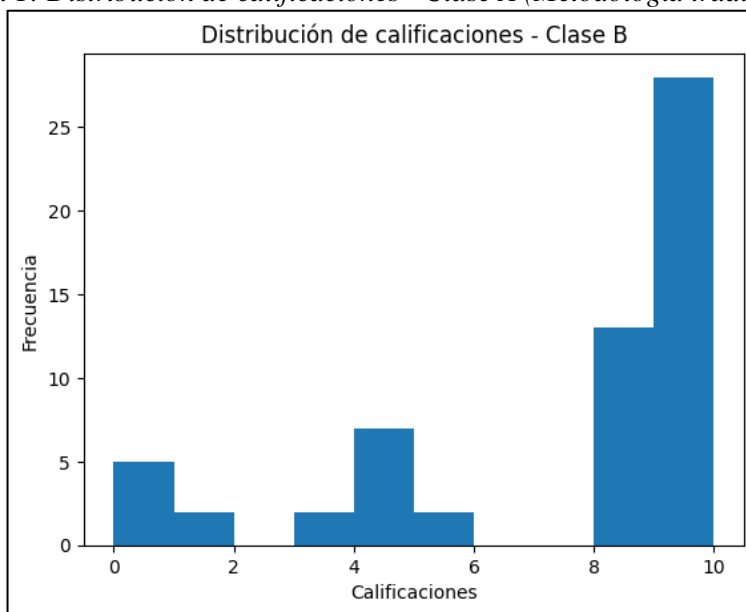


Figura 2: Distribución de calificaciones - Clase B (Estrategia con software matemático).

Como se observa en las Figuras 1 y 2, la distribución de calificaciones del grupo experimental (Clase B) presenta una concentración mayor en las calificaciones altas (8, 9 y 10), con 41 estudiantes (69.49%) en este rango. Por el contrario, el grupo de control (Clase A) muestra una distribución más dispersa, con 18 estudiantes (31.03%) obteniendo calificación de 0, y una frecuencia menor en las calificaciones superiores.

**Comparación entre grupos y tamaño del efecto**

Los intervalos de confianza para la media del rendimiento académico mostraron que, con un 95% de confianza, la calificación poblacional del grupo de control se ubica en el rango [4.13, 6.29], mientras que para el grupo experimental el intervalo fue [6.14, 7.80]. La no superposición parcial de ambos intervalos proporciona evidencia preliminar de diferencias significativas entre los grupos.

Considerando como nota aprobatoria mínima 7.0/10.0, el grupo experimental presentó una tasa de aprobación del 69.49% (41/59 estudiantes), en contraste con el 50.00% (29/58) observado en



el grupo de control. Esta diferencia de 19.49 puntos porcentuales refleja una mejora sustantiva en el logro de los aprendizajes esperados cuando se integra la mediación tecnológica.

En el grupo de control, el 31.03% de los estudiantes obtuvo calificación de 0, lo que evidencia dificultades persistentes en la apropiación del concepto bajo la metodología tradicional. Por el contrario, en el grupo experimental solo el 8.47% registró esta calificación, y se observó una concentración de frecuencias en las categorías altas: el 69.48% de los estudiantes obtuvo notas entre 8 y 10.

La prueba de Shapiro–Wilk indicó que las distribuciones de ambos grupos se alejan significativamente de la normalidad: Curso A ( $W = 0.8123, p < .001$ ) y Curso B ( $W = 0.7871, p < .001$ ). No obstante, dado que la prueba  $t$  de Student para muestras independientes es robusta frente a violaciones moderadas de normalidad cuando los tamaños muestrales son similares y superiores a 30 (como en este caso,  $n_1 = 58, n_2 = 59$ ), se procedió con el contraste paramétrico conforme al plan analítico preestablecido.

El análisis comparativo del rendimiento académico entre grupos reveló diferencias estadísticamente significativas:  $t(115) = -2.5919, p = .0108$ . Dado que  $p < .05$ , se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias, concluyéndose que la implementación de la estrategia didáctica asistida por software matemático tuvo un efecto positivo y significativo en el aprendizaje del producto vectorial.

Para evaluar la magnitud práctica de la diferencia observada, se calculó el tamaño del efecto mediante el estadístico  $d$  de Cohen, obteniéndose un valor de  $|d| = 0.48$ . De acuerdo con los criterios de interpretación convencionales (Cohen, 1988), este valor corresponde a un efecto de magnitud pequeña a media, lo que indica que la intervención no solo fue estadísticamente significativa, sino que también generó un impacto educativo relevante en términos de mejora del rendimiento académico.

#### Confiabilidad del instrumento de percepción

Antes de analizar las percepciones estudiantiles, se evaluó la consistencia interna del cuestionario mediante el coeficiente alfa de Cronbach. Los resultados, presentados en la *Tabla 2*: Coeficiente alfa de Cronbach por dimensión.

Dimensión	$\alpha$ de Cronbach	Interpretación
<b>Dimensión 1: Claridad conceptual</b>	0.9412	Excelente
<b>Dimensión 2: Visualización 3D</b>	0.9393	Excelente
<b>Dimensión 3: Utilidad del software</b>	0.9446	Excelente
<b>Dimensión 4: Aplicación en ingeniería</b>	0.9493	Excelente
<b>Dimensión 5: Motivación académica</b>	0.9454	Excelente
<b>Alpha Global (15 ítems)</b>	<b>0.9892</b>	<b>Excelente</b>

Todos los valores superaron ampliamente el umbral de 0.80 considerado como indicador de alta consistencia interna, con un Alpha global de 0.9892, lo que confirma la alta confiabilidad del instrumento para medir la percepción estudiantil sobre la estrategia didáctica.

#### Percepción estudiantil sobre la estrategia didáctica

Las percepciones de los 59 estudiantes del grupo experimental respecto a la estrategia didáctica asistida por software matemático fueron generalmente positivas.

La *Tabla 3* muestra las estadísticas descriptivas por dimensión.

Dimensión	Media	Desviación Estándar
<b>Claridad conceptual</b>	3.38	1.31
<b>Visualización 3D</b>	3.37	1.31
<b>Utilidad del software</b>	3.40	1.35
<b>Aplicación en ingeniería</b>	3.37	1.33
<b>Motivación académica</b>	3.40	1.32

*Tabla 3: Estadísticas descriptivas de la percepción estudiantil (Escala 1-5).*

Las medias oscilaron entre 3.37 y 3.40 en una escala de 1 a 5, ubicándose ligeramente por encima del punto medio neutral (3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo). La dimensión de Utilidad del software y Motivación académica obtuvieron las medias más altas (3.40), seguidas de Claridad conceptual (3.38), mientras que Visualización 3D y Aplicación en ingeniería registraron 3.37.

Estos resultados sugieren que los estudiantes percibieron de manera favorable la incorporación de GNU Octave y MATLAB Mobile como herramientas de apoyo para el aprendizaje del producto vectorial, reconociendo particularmente su utilidad práctica y su contribución a la motivación académica.

### **Discusión**

Los resultados de esta investigación proporcionan evidencia empírica sobre la efectividad de una estrategia didáctica asistida por software matemático (GNU Octave y MATLAB Mobile) en el aprendizaje del producto vectorial en estudiantes de ingeniería. El análisis comparativo reveló diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento académico entre el grupo experimental ( $M = 6.97$ ,  $DE = 3.19$ ) y el grupo de control ( $M = 5.21$ ,  $DE = 4.10$ ),  $t(115) = -2.59$ ,  $p = .011$ , lo que permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza del 95%. La magnitud práctica de esta diferencia, estimada mediante el estadístico  $d$  de Cohen ( $|d| = 0.48$ ), corresponde a un efecto de tamaño pequeño a medio, indicando que la intervención generó un impacto educativo relevante más allá de la significancia estadística (Cohen, 1988).

La superioridad del rendimiento académico en el grupo experimental se manifestó también en indicadores complementarios: la mediana fue superior (8.0 vs. 6.5), la dispersión de calificaciones fue menor ( $DE = 3.19$  vs. 4.10), y la tasa de aprobación (nota  $\geq 7$ ) alcanzó el 69.49% frente al 50.00% del grupo tradicional. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones que destacan el potencial de las herramientas de visualización dinámica para fortalecer la comprensión de conceptos matemáticos abstractos en educación superior en ingeniería (Medina-Herrera et al., 2024; Trujillo-Trejo et al., 2021). La capacidad de GNU Octave y MATLAB Mobile para generar representaciones tridimensionales del producto vectorial pudo haber facilitado la articulación entre el registro algebraico y el geométrico, una dificultad frecuentemente reportada en la literatura especializada.

La menor dispersión observada en el grupo experimental sugiere que la estrategia contribuyó a homogeneizar el rendimiento, reduciendo la brecha entre estudiantes con distintos niveles de preparación previa. Este resultado respalda la premisa de que la mediación tecnológica, cuando se articula con una secuencia pedagógica estructurada, puede mitigar las desigualdades iniciales en el aprendizaje de contenidos matemáticos complejos (Pawlaschyk & Wegner, 2020). Además, la concentración de frecuencias en calificaciones altas (8-10) en el grupo experimental (69.48% de los estudiantes) contrasta con la distribución más dispersa y polarizada del grupo de control, donde el 31.03% obtuvo calificación de 0.

### **Interpretación de la percepción estudiantil**

La confiabilidad del instrumento de percepción fue excelente en todas sus dimensiones, con coeficientes alfa de Cronbach superiores a 0.93 y un Alpha global de 0.9892, lo que confirma la consistencia interna del cuestionario para medir la percepción estudiantil sobre la estrategia didáctica (Cronbach, 1951). Las medias de percepción oscilaron entre 3.37 y 3.40 en una escala de 1 a 5, ubicándose ligeramente por encima del punto medio neutral. La dimensión Utilidad del software y Motivación académica obtuvieron las medias más altas (3.40), seguidas de Claridad conceptual (3.38), mientras que Visualización 3D y Aplicación en ingeniería registraron 3.37.

Estos resultados sugieren que los estudiantes reconocieron de manera favorable la incorporación de GNU Octave y MATLAB Mobile como herramientas de apoyo, valorando particularmente su utilidad para la verificación algebraica y la optimización de procedimientos. Este hallazgo es consistente con la premisa de que la automatización de cálculos rutinarios libera recursos cognitivos para enfocarse en aspectos conceptuales y de aplicación profesional (Che-Mansor & Jana-Aksah, 2025). Asimismo, la integración de MATLAB Mobile en dispositivos personales pudo haber promovido prácticas de estudio autónomo y colaborativo, una tendencia creciente en la educación en ingeniería postpandemia (Ruiz-Loza et al., 2022).

La percepción moderadamente positiva en la dimensión Visualización 3D (Media = 3.37) refleja que, si bien los estudiantes reconocieron el valor de la representación gráfica espacial, la adopción efectiva de herramientas de visualización requiere acompañamiento pedagógico estructurado para guiar la interpretación de las representaciones generadas (Medina-Herrera et al., 2024). En este

sentido, la estrategia implementada incorporó fases de exploración guiada y resolución de problemas contextualizados, lo cual pudo haber mitigado la sobrecarga cognitiva asociada al uso inicial de software matemático (Reid-O'Connor & Norton, 2020).

La dimensión Aplicación en ingeniería (Media = 3.37) evidenció que los estudiantes valoraron la transferencia del contenido matemático a contextos disciplinares específicos (cálculo de torque, análisis de fuerzas, modelado de campos electromagnéticos). Esta percepción es fundamental, dado que la relevancia percibida de los contenidos matemáticos constituye un predictor significativo del compromiso académico en carreras de ingeniería (Cao et al., 2022). Los resultados corroboran que la contextualización disciplinar, mediada por simulaciones computacionales, fortalece la motivación intrínseca y la percepción de utilidad profesional del aprendizaje (Islim et al., 2024).

### **Fundamentación teórica e implicaciones pedagógicas**

Desde una perspectiva teórica, los hallazgos refuerzan el marco de la Instrumentación Didáctica, actualizado en investigaciones recientes que analizan la coevolución entre el sujeto y la herramienta tecnológica en entornos de aprendizaje matemático (Medina-Herrera et al., 2024). La estrategia implementada demostró que la mediación de GNU Octave y MATLAB Mobile no sustituye el razonamiento algebraico, sino que lo potencia al proporcionar retroalimentación inmediata y representaciones múltiples del mismo concepto. Este enfoque multimodal es particularmente relevante para el aprendizaje del producto vectorial, cuya comprensión exige integrar registros algebraicos, geométricos y aplicados (Trujillo-Trejo et al., 2021; Borba & Villarreal, 2005).

Pedagógicamente, los resultados sugieren que la integración de software matemático en asignaturas de álgebra lineal para ingeniería debe seguir principios de diseño instruccional basados en evidencia: (1) secuenciación progresiva de actividades que vinculen exploración guiada con resolución autónoma de problemas; (2) articulación explícita entre las representaciones computacionales y los fundamentos teóricos; y (3) contextualización disciplinar que conecte el producto vectorial con aplicaciones profesionales auténticas (Che-Mansor & Jana-Aksah, 2025).

### **Limitaciones del estudio**

A pesar de los hallazgos favorables, esta investigación presenta limitaciones que deben considerarse en la interpretación de los resultados. En primer lugar, el diseño cuasiexperimental con grupos intactos impide el control total de variables de confusión, como diferencias previas en habilidades espaciales o experiencia tecnológica entre los grupos (Resnick et al., 2020). En segundo lugar, la intervención se desarrolló en una única sesión de 180 minutos, lo cual limita la generalización de los efectos a largo plazo; estudios longitudinales son necesarios para determinar si las ganancias observadas se mantienen en evaluaciones posteriores o se transfieren a otros contenidos del álgebra lineal (Lowrie et al., 2018). Finalmente, el muestreo no probabilístico por conveniencia en una única institución ecuatoriana restringe la extrapolación de los resultados a otros contextos culturales o sistemas educativos (Guntur et al., 2020).

### **Líneas futuras de investigación**

Se recomienda que futuras investigaciones: (1) incorporen mediciones pretest de variables moderadoras (habilidades espaciales, actitudes hacia las matemáticas, experiencia con software) para ajustar estadísticamente las comparaciones entre grupos; (2) evalúen la retención de aprendizajes mediante pruebas diferidas en el tiempo; (3) exploren la integración de tecnologías emergentes (realidad aumentada, entornos inmersivos) para la visualización de conceptos vectoriales (Medina-Herrera et al., 2024); y (4) repliquen el estudio en múltiples instituciones para validar la efectividad de la estrategia en distintos contextos educativos.

### **Conclusión de la discusión**

En síntesis, esta investigación aporta evidencia empírica cuantitativa sobre la efectividad de una estrategia didáctica asistida por software matemático para mejorar el rendimiento académico y la percepción estudiantil en el aprendizaje del producto vectorial. Los resultados confirman que la integración de GNU Octave y MATLAB Mobile, articulada con una secuencia pedagógica

estructurada y contextualizada en ingeniería, favorece la comprensión algebraico-geométrica del concepto, incrementa las tasas de aprobación y genera percepciones favorables respecto a la utilidad y motivación académica. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de repensar la enseñanza de las matemáticas en ingeniería desde enfoques que integren rigurosidad conceptual, visualización dinámica y aplicación profesional, aprovechando herramientas tecnológicas accesibles y de código abierto (Trujillo-Trejo et al., 2021).

### **Conclusiones**

La implementación de una estrategia didáctica asistida por software matemático (GNU Octave y MATLAB Mobile) tuvo un efecto positivo y estadísticamente significativo en el rendimiento académico de estudiantes de Álgebra Lineal de ingeniería. El grupo experimental obtuvo una media de 6.97 (DE = 3.19), superior a la media del grupo de control de 5.21 (DE = 4.10), con una diferencia significativa confirmada mediante la prueba t de Student,  $t(115) = -2.59$ ,  $p = .011$ . El tamaño del efecto estimado (d de Cohen = 0.48) indica una magnitud práctica de pequeña a media, lo que sugiere que la intervención no solo generó diferencias estadísticamente relevantes, sino también un impacto educativo sustantivo. Adicionalmente, la tasa de aprobación (nota  $\geq 7$ ) fue del 69.49% en el grupo experimental frente al 50.00% en el grupo de control, evidenciando una mejora de 19.49 puntos porcentuales atribuible a la mediación tecnológica.

Los estudiantes del grupo experimental manifestaron percepciones generalmente favorables respecto a la estrategia didáctica implementada. Las medias de percepción oscilaron entre 3.37 y 3.40 en una escala de 1 a 5, ubicándose ligeramente por encima del punto medio neutral. Las dimensiones Utilidad del software y Motivación académica obtuvieron las valoraciones más altas (3.40), seguidas de Claridad conceptual (3.38), mientras que Visualización 3D y Aplicación en ingeniería registraron 3.37. Estos resultados sugieren que los estudiantes reconocieron la incorporación de GNU Octave y MATLAB Mobile como herramientas de apoyo válidas para la verificación algebraica, la optimización de procedimientos y el fortalecimiento de la motivación hacia el aprendizaje del producto vectorial.

El instrumento multidimensional diseñado para medir experiencias de aprendizaje mediadas por tecnología en educación matemática para ingeniería demostró una consistencia interna excelente. Todos los coeficientes alfa de Cronbach por dimensión superaron el umbral de 0.93, y el Alpha global alcanzó un valor de 0.9892, lo que confirma la alta confiabilidad del cuestionario para evaluar percepciones estudiantiles en contextos de enseñanza de álgebra lineal asistida por software. Este hallazgo valida la utilidad metodológica del instrumento para futuras investigaciones que exploren la integración de herramientas tecnológicas en la formación matemática de ingenieros.

En síntesis, los hallazgos de esta investigación respaldan la hipótesis de que una estrategia didáctica asistida por software matemático favorece el proceso de enseñanza-aprendizaje del producto vectorial en estudiantes de ingeniería. La articulación entre integración conceptual, resolución de problemas contextualizados y visualización tridimensional dinámica mediante GNU Octave y MATLAB Mobile contribuyó a mejorar la comprensión algebraico-geométrica del concepto, incrementar las tasas de aprobación y generar percepciones estudiantiles positivas respecto a la utilidad y motivación académica. Estos resultados refuerzan la pertinencia de repensar la enseñanza de las matemáticas en ingeniería desde enfoques que integren rigurosidad conceptual, mediación tecnológica accesible y aplicación profesional auténtica.

Los resultados obtenidos sugieren tres implicaciones prácticas para la docencia de Álgebra Lineal en ingeniería: (1) incorporar software matemático de código abierto (GNU Octave) y herramientas móviles (MATLAB Mobile) como recursos complementarios para la visualización y verificación de conceptos vectoriales; (2) diseñar secuencias didácticas que articulen explícitamente los registros algebraico, geométrico y aplicado del producto vectorial; y (3) contextualizar los contenidos matemáticos en problemas disciplinares auténticos (torque, análisis de fuerzas,

campos electromagnéticos) para fortalecer la percepción de relevancia profesional y la motivación intrínseca del estudiantado.

Se recomienda: (1) replicar este estudio en múltiples instituciones y contextos culturales para validar la generalización de los hallazgos; (2) incorporar diseños longitudinales que evalúen la retención de aprendizajes a mediano y largo plazo; (3) explorar la integración de tecnologías emergentes (realidad aumentada, entornos inmersivos) para la visualización de conceptos vectoriales; y (4) profundizar en el análisis de variables moderadoras (habilidades espaciales, experiencia tecnológica previa, actitudes hacia las matemáticas) que puedan influir en la efectividad de estrategias tecnológicas en educación matemática para ingeniería.

#### **Referencias Bibliográficas**

1. Borba, M. C., y Villarreal, M. E. (2005). *Humans-with-Media and the Reorganization of Mathematical Thinking* (Vol. 39). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/b105001#accessibility-information>
2. Cao, Y., Al-Kubaisy, Z., Stojanović, J., Denić, N., Petković, D., Zlatković, D., & Zakić, A. (2022). Appraisal of information and communications technologies on the teaching process by neuro fuzzy logic. *Computer Applications in Engineering Education*, 30(3), 779-802. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cae.22486>
3. Che Mansor, N. F., y Jana Aksah, S. (2025). Utilizing Mathematical Software for the Teaching and Learning of Mathematics in Malaysia. *Malaysian Journal of Computing*, 10(2), 2293–2307. <https://doi.org/https://doi.org/10.24191/mjoc.v10i2.6022>
4. Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203771587>
5. Cronbach, L. J. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02310555>
6. Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). Sage Publications.
7. Gilligan-Lee, K. A., Hawes, Z. C., & Mix, K. S. (2022). Spatial thinking as the missing piece in mathematics curricula. *NPJ Science of Learning*, 7(10). <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41539-022-00128-9>
8. Guntur, M. I., Setyaningrum, W., Retnawati, H., y Marsigit. (2020). Can augmented reality improve problem-solving and spatial skill? *Journal of Physics: Conference Series*, 1581. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012063>
9. Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>
10. Islim, O. F., Namlı, Ş., Sevim, N., y Ozcakir, B. (2024). Augmented Reality in Mathematics Education: A Systematic Review. *Participatory Educational Research*, 11(4), 115-139. <https://doi.org/https://doi.org/10.17275/per.24.52.11.4>
11. Juandi, D., Kusumah, Y., Tamur, M., Perbowo, K., y Wijaya, T. (2021). A meta-analysis of Geogebra software decade of assisted mathematics learning: what to learn and where to go? *Heliyon*, 7(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06953>
12. Lowrie, T., Logan, T., Harris, D., y Hegarty, M. (2018). The impact of an intervention program on students' spatial reasoning: student engagement through mathematics-enhanced learning activities. *Cognitive Research*, 3(50). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s41235-018-0147-y>
13. Medina Herrera, L. M., Juárez Ordóñez, S., & Ruiz-Loza, S. (2024). Enhancing mathematical education with spatial visualization tools. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1229126>
14. Pawlaschyk, T., y Wegner, S. A. (2020). Engaging students in conjecturing through homework in real analysis and differential equations. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(3), 439–450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1656832>



15. Reid O'Connor, B., y Norton, S. (2020). Supporting indigenous primary students' success in problem-solving: learning from Newman interviews. *Mathematics Education Research Journal*, 34, 293–316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13394-020-00345-8>
16. Resnick, I., Harris, D., Logan, T., & Lowrie, T. (2020). The relation between mathematics achievement and spatial reasoning. *Mathematics Education Research Journal*, 32, 171–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13394-020-00338-7>
17. Ruiz Loza, S., Medina Herrera, L. M., Molina Espinosa, J. M., y Huesca Juárez, G. (2022). Facilitating Mathematical Competencies Development for Undergraduate Students During the Pandemic Through ad-hoc Technological Learning Environments. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/educ.2022.830167>
18. Trujillo Trejo, J., Fermín Pérez, A., Cáceres Huamán, M., Avendaño Quiroz, J., Trujillo Huamán, R., & Bustamante Olivera, V. (2021). Experiences in the usage of Octave on improving learning mathematics in an engineering faculty. *2021 IEEE World Conference on Engineering Education (EDUNINE)*, 1-5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/EDUNINE51952.2021.9429162>

