

Ejemplos Digitales Mediados por la Teoría de la Actividad y ADDIE para Álgebra Lineal

Digital Examples Mediated by Activity Theory and ADDIE for Linear Algebra

Autores:

Nelly Rigaud Téllez  ORCID

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Roberto Blanco Bautista  ORCID

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Cómo citar este artículo:

American Psychological Association, 7.^a edición (APA 7):

Rigaud Téllez, N. y Blanco Bautista, R. (2025). Ejemplos digitales mediados por la teoría de la actividad y ADDIE para álgebra lineal. *Boletín Científico Fronteras Tecnológicas*, 1(1), 1-25.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE):

N. Rigaud Téllez y R. Blanco Bautista, “Ejemplos digitales mediados por la teoría de la actividad y ADDIE para álgebra lineal”, *Boletín Científico Fronteras Tecnológicas*, vol. 1, no. 1, 1-25, 2025. [En línea].

RESUMEN

Álgebra Lineal ocupa un rol crucial en diferentes campos de tecnología e ingeniería, por lo que constituye una base indispensable para el desarrollo científico y tecnológico. Su educación está catalogada como de difícil aprendizaje para estudiantes, y de difícil enseñanza por maestros. El estudio examina el aprendizaje de esta disciplina, mediante un ritmo adecuado en aula, y el uso de artefactos digitales centrados en ejemplos desarrollados, que vinculan teoría y práctica, como una herramienta efectiva para fortalecer la capacidad de abstracción, generalización y formalismo, al tiempo que se visibilizan escenarios profesionales, donde el Álgebra Lineal es clave para la solución de problemas. La investigación se guía por la Teoría de la Actividad y el modelo ADDIE, para explorar cómo estudiantes que no han tenido relación con la asignatura, interactúan con ejemplos desarrollados, bajo actividades instruccionales previamente organizadas. El estudio consideró un grupo experimental y uno de control. Los resultados indican que, en el grupo experimental existe un nivel de aceptación alto para adoptar estos artefactos y un mejoramiento en el rendimiento académico de estudiantes. Se hallaron evidencias en la capacidad de transferir habilidades a otros conceptos matemáticos, lo cual es una puerta a nuevas investigaciones sobre la integración de artefactos digitales y diseño instruccional en disciplinas catalogadas como de alta dificultad.

Palabras claves: Álgebra Lineal, recursos educativos digitales, teoría de la actividad, modelo ADDIE, aprendizaje mediado por tecnología.

ABSTRACT

Linear algebra plays a crucial role in various fields of technology and engineering, making it an indispensable foundation for scientific and technological development. It is considered difficult for students to learn and difficult for teachers to teach. This study examines the learning of this discipline through an appropriate classroom pace and the use of digital artifacts focused on developed examples that link theory and practice as an effective tool for strengthening the capacity for abstraction, generalization, and formalism, while highlighting professional scenarios where linear algebra is key to problem solving. The research is guided by Activity Theory and the ADDIE model to explore how students who have had no previous exposure to the subject interact with developed examples under previously organized instructional activities. The study considered an experimental group and a control group. The results indicate that, in the experimental group, there is a high level of acceptance for adopting these artifacts and an improvement in students' academic performance. Evidence was found in the ability to transfer skills to other mathematical concepts, which is a gateway to new research on the integration of digital artifacts and instructional design in disciplines classified as highly difficult.

Keywords: Linear Algebra, digital educational resources, activity theory, ADDIE model, technology-mediated learning.



INTRODUCCIÓN

Álgebra Lineal es fundamental por sus importantes aplicaciones en múltiples disciplinas, al sustentar espacios vectoriales, finitos o de dimensión infinita contable, junto con las transformaciones lineales entre dichos espacios (Taguchi, 2020). Su estructura formal permite modelar y resolver problemas complejos mediante herramientas que favorecen el análisis, la abstracción y la representación matemática en diversos contextos científicos y tecnológicos.

Aunque los docentes reconocen la importancia del Álgebra Lineal, también identifican dificultades en la comprensión y aplicación de sus conceptos, como los espacios vectoriales y las proyecciones ortogonales en el nivel superior (Bernier & Zandieh, 2024). La naturaleza inherentemente abstracta de esta disciplina, junto con la limitación de vincularla con escenarios contextualizados, como los propios de ciencias aplicadas o ingeniería, representa un obstáculo significativo en el proceso de aprendizaje de estudiantes (Carlson, 1993).

Estas dificultades de comprensión y vinculación con aplicaciones reales han generado cuestionamientos sobre la pertinencia de mantener ciertos contenidos en el nivel medio superior, lo que ha derivado en recientes cambios de planes y programas de estudio en diferentes bachilleratos mexicanos (educación media superior) que han eliminado contenidos básicos de Álgebra Lineal. En consecuencia, existen estudiantes que ingresan a carreras universitarias sin conocimientos previos de la asignatura. Ante esta situación, en el nivel licenciatura se suelen adoptar dos enfoques de enseñanza: métodos mecánicos que enfatizan algoritmos y técnicas procedimentales, o enfoques axiomáticos centrados en la demostración y teoría.

Por un lado, si bien las técnicas procedimentales facilitan manipulaciones sistemáticas, estas tienden a ser insuficientes, ya que no brindan oportunidades para explicar soluciones o



fundamentos (Dogan, 2018). Como resultado, los estudiantes suelen tener dificultades para transferir sus conocimientos a otros dominios. Por otro lado, el enfoque axiomático promueve un razonamiento riguroso y profundo, pero puede resultar abstracto y demandante en tiempo, lo que potencialmente desmotiva a estudiantes, especialmente en áreas como la ingeniería, donde las aplicaciones prácticas son prioritarias (Dogan, 2018).

Al respecto, la literatura recomienda actividades valiosas en matemáticas, que promuevan el diálogo y ayuden a estudiantes a desempeñarse bien en evaluaciones basadas en contenido, y que apoyen su desarrollo en el pensamiento matemático, resolución de problemas y comunicación matemática (Wesenberg et al., 2025). En esta línea, la presente investigación se orienta a explorar cómo materializar estas recomendaciones, al articular teoría y práctica mediante recursos educativos digitales dentro de una estrategia instruccional que fortalezca la abstracción, generalización y formalismo matemático, mientras se visibilizan escenarios del campo profesional en los que el Álgebra Lineal resulta fundamental.

Este estudio examina el impacto del uso de un tipo de recurso digital, llamado ejemplo desarrollado, diseñado bajo la Teoría de la Actividad, para la mejora del desempeño conceptual y procedimental de estudiantes que han tenido una limitada experiencia con temas fundamentales de Álgebra Lineal, bajo un diseño instruccional y una intervención didáctica. Para fundamentar esta intervención, es necesario revisar los aspectos teóricos de la Teoría de la Actividad, que proporciona un marco para comprender cómo los estudiantes interactúan con herramientas, mediaciones y prácticas educativas en el aprendizaje de conceptos complejos como los de Álgebra Lineal.

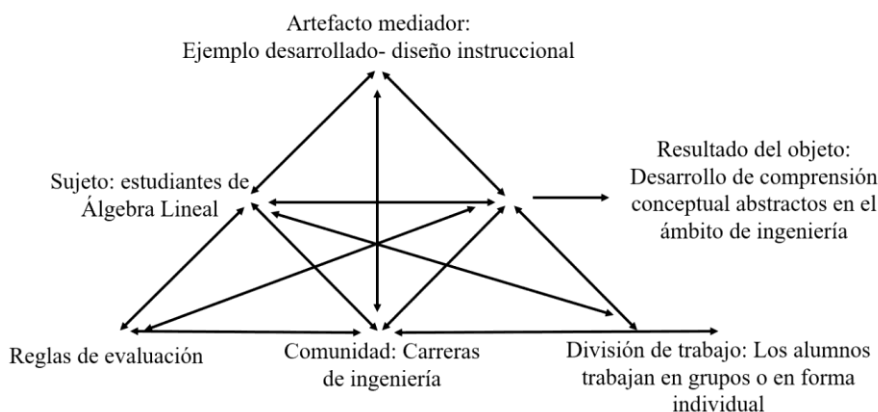
a) Teoría de la Actividad

La Teoría de la Actividad (TA) del aprendizaje presenta un marco integral que conceptualiza el aprendizaje como un sistema de actividad dinámico e integrado (Xiangkui, 2024; Burner & Svendsen, 2020). Nguyen et al. (2022) sugieren este marco para analizar y mejorar la enseñanza de Álgebra Lineal, en donde el aprendizaje debe examinarse como un sistema holístico de actividad, un proceso auténtico de resolución de problemas, en el que los individuos participan activamente en la construcción de su comprensión mediante interacciones significativas con su entorno.

En esta línea, el modelo de tercera generación de la Teoría de la Actividad de Engeström (2014) permite analizar entornos de aprendizaje complejos que involucran objetos (propósitos y metas), acciones y operaciones realizadas, artefactos mediadores, reglas, etc., que facilitan la transformación de acciones externas en procesos mentales internos, bajo influencias contextuales y escenarios histórico-culturales (figura 1).

Figura 1

Modelo de Actividad para la Comprensión Conceptual en Álgebra Lineal



Nota. La figura demuestra el modelo de actividad para la comprensión conceptual en Álgebra Lineal. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1, las herramientas se constituyen como artefactos mediadores, tales como el software dinámico, que contribuye a alcanzar resultados de aprendizaje esperados (Periasamy, 2012; Thomas, 2012). Asimismo, los ejemplos trabajados en aula no solo median la actividad, sino también reflejan y transforman las relaciones entre distintos elementos del sistema, facilitando así el aprendizaje (Xiangkui, 2024). En este marco, Frieriksen & Hadjerrouit (2020) y Treffert-Thomas (2015) reconocen la importancia de integrar artefactos digitales en un entorno de aprendizaje matemático, apoyado por prácticas como el aula invertida, lo cual podría aplicarse al Álgebra Lineal en el entorno educativo universitario latinoamericano (Gerónimo-Bautista & Ochoa Rosas, 2025).

Anastasakis et al. (2022) señalan que los estudiantes de ingeniería y computación enfrentan desafíos significativos en los cursos de Álgebra Lineal, en parte debido a la ausencia de ejemplos que articulen de manera efectiva la teoría y práctica durante las clases. Esta situación evidencia que, aunque la Teoría de la Actividad de Engeström ha sido ampliamente empleada en investigaciones educativas para analizar las interacciones entre sujetos, herramientas y contextos, su uso en el aprendizaje de Álgebra Lineal permanece aún limitado.

Por ello, se resalta la necesidad de diseñar ejemplos de manera sistemática para apoyar el aprendizaje. En esta dirección, Castle (2023) considera la codificación como una oportunidad para desarrollar y expresar la creatividad en el contexto del Álgebra Lineal, bajo algún modelo instruccional, como ADDIE, que asegure una integración efectiva en las prácticas docentes. Se abre una oportunidad de examinar el uso de ejemplos desarrollados como herramientas mediadoras que promuevan un aprendizaje significativo.

b) Ejemplos desarrollados

La enseñanza del Álgebra Lineal enfrenta el desafío de lograr que los estudiantes integren los conocimientos adquiridos y los apliquen en contextos nuevos. Este reto persiste tanto en enfoques procedimentales como axiomáticos, ya que ambos requieren que los estudiantes articulen habilidades de abstracción, razonamiento y métodos de resolución de problemas, competencias que no siempre se encuentran plenamente desarrolladas al cursar esta asignatura.

La enseñanza del Álgebra Lineal presenta el desafío de lograr que los estudiantes comprendan los conceptos fundamentales y sean capaces de aplicarlos en situaciones nuevas. Este reto se mantiene en enfoques procedimentales y aproximaciones axiomáticas, ya que ambos exigen niveles de abstracción y razonamiento lógico. Además, demandan que el estudiante maneje métodos de solución y vínculos entre distintos conceptos, habilidades que con frecuencia no se encuentran consolidadas al cursar esta asignatura. Como consecuencia, la carga cognitiva se incrementa y dificulta un aprendizaje fluido, especialmente cuando no se cuenta con estrategias didácticas que faciliten la conexión progresiva entre los conceptos teóricos y su aplicación práctica.

Las investigaciones de Sweller & Cooper (1985), realizadas hace aproximadamente dos décadas, evidenciaron que los ejemplos desarrollados reducen la carga cognitiva y facilitan la transferencia del conocimiento; sin embargo, no siempre garantizan un aprendizaje profundo ni la identificación de estructuras matemáticas subyacentes. En este sentido, resulta fundamental distinguir entre distintos tipos de ejemplos. Por un lado, se encuentran los procedimentales, centrados en secuencias explícitas de instrucciones para alcanzar un resultado. Por otro, los conceptuales, orientados hacia principios, teorías y la comprensión fundamental de un tema. Se

identifican los ejemplos contextualizados tecnológicamente, que integran conceptos y procedimientos dentro de un entorno digital o tecnológico (Bernier & Zandieh, 2024).

Como artefactos mediadores, los ejemplos proporcionan representaciones estructuradas y modelos para la resolución de problemas (Bernier & Zandieh, 2024), cuya eficacia aumenta al incorporar variantes como comparaciones entre métodos, errores intencionales, ejercicios breves en un ambiente de juego, robótica, realidad aumentada, simulaciones, entre otras, lo cual proporciona una guía clara y concreta (Renkl, 2024; Barbieri et al., 2023); no obstante, la literatura sobre Álgebra Lineal y su enseñanza aún no ha explorado suficientemente este potencial, especialmente en relación con el desempeño y andamiaje de los estudiantes. Los ejemplos desarrollados enmarcados en la Teoría de la Actividad (Engeström, 2014) dejan de ser herramientas aisladas para convertirse en componentes integrados, lo que abre la posibilidad de articular teoría y práctica en un mismo espacio instruccional.

La pregunta que guía a esta investigación es, ¿cómo influye el uso de ejemplos desarrollados, contextualizados con elementos digitales y diseñados bajo la Teoría de la Actividad, en el desarrollo de habilidades de axiomatización, formalismo y solución de problemas en estudiantes de licenciatura? Se parte del supuesto que su integración, mediante algún diseño instruccional adecuado, favorece una comprensión conceptual más sólida frente a métodos tradicionales de enseñanza.

c) Diseño instruccional

Los ejemplos concebidos como artefactos digitales mediado bajo la Teoría de la Actividad se pueden diseñar siguiendo el modelo instruccional ADDIE. Este enfoque cíclico —Análisis, Diseño, Desarrollo, Implementación y Evaluación— ofrece una estructura coherente y flexible para el diseño educativo (Seel et al., 2017). A partir de ello, se facilita la integración de recursos

digitales que fortalecen las habilidades matemáticas y la formación en ingeniería en universidades latinoamericanas (Villalba et al., 2025).

En este estudio, el modelo ADDIE no se utiliza únicamente como guía de diseño, sino como un marco integrador entre la Teoría de la Actividad, ejemplos desarrollados y tecnologías digitales. Al seguir cada una de sus fases, cuya primera etapa es el análisis, se identifican las necesidades formativas, el contexto educativo y los obstáculos presentes en las prácticas instruccionales. Esto permite estructurar experiencias de aprendizaje que incorporan herramientas digitales de manera coherente con los objetivos de aprendizaje y las prioridades institucionales (Seel et al., 2017).

Aunque el modelo ADDIE constituye un referente consolidado en contextos presenciales, a distancia e híbridos, su aplicación al rediseño de actividades de Álgebra Lineal mediante artefactos digitales sigue siendo limitada. La presente investigación aporta una novedad metodológica al articular de manera explícita la Teoría de la Actividad con las fases del modelo ADDIE, conectando la formalización matemática con la comprensión conceptual en un área caracterizada por altos niveles de abstracción que dificultan el aprendizaje.

En este contexto, el estudio tiene como objetivo examinar cómo el uso de ejemplos desarrollados, contextualizados con elementos digitales y diseñados bajo la Teoría de la Actividad, influyen en el desarrollo de habilidades de axiomatización, formalismo y resolución de problemas en estudiantes de Licenciatura en Álgebra Lineal.

METODOLOGÍA

Se utilizó un diseño cuasiexperimental con grupos previamente conformados en sus cursos regulares. La asignación a las condiciones del estudio se realizó de forma aleatoria, y todos pertenecían al mismo programa académico, abordaban contenidos equivalentes y operaban bajo condiciones institucionales homogéneas.

La investigación se llevó a cabo en una Facultad del Estado de México durante el semestre académico 2024-2025. Participaron dos grupos de estudiantes del segundo semestre de carreras de ingeniería. Como antecedentes, los estudiantes habían cursado las asignaturas de Álgebra, Cálculo y Geometría, conforme al plan de estudios vigente. Los estudiantes provenían en su mayoría de bachilleratos públicos.

Cada grupo estuvo integrado por treinta estudiantes, organizados en un grupo experimental y otro de control, ambos con perfiles académicos heterogéneos. Las sesiones se desarrollaron de manera presencial, bajo la conducción de dos docentes especialistas que participaron voluntariamente. Para la recolección de datos se utilizaron las pruebas ordinarias de la asignatura, aplicadas de manera regular dentro del proceso evaluativo.

Sobre el diseño instruccional, se utilizó el modelo ADDIE. En la fase de análisis, una investigación bibliométrica permitió identificar necesidades específicas de aprendizaje para la asignatura de Álgebra Lineal en las dimensiones de comprensión conceptual (Bernier & Zandieh, 2024), pruebas y demostraciones (Caglayan, 2018), flexibilidad cognitiva (Dogan, 2018), simbolismo y operaciones (Serbin et al., 2020), participación y compromiso (Dogan, 2018), estrategias instruccionales (Serbin et al., 2020; Harel, 2017) y uso de tecnología (Caglayan, 2018).

Durante la fase de diseño, se incorporaron características estructurales propias del Álgebra Lineal y representaciones tecnológicas, siguiendo las propuestas de Renkl (2021) y Wesenberg et

al. (2024). El desarrollo de los ejemplos contó con el apoyo de especialistas y evaluación por pares, lo que permitió realizar ajustes para asegurar la pertinencia pedagógica. Posteriormente, de manera inicial se alojaron en un sitio comercial (*Genially*), donde fueron validados nuevamente por expertos, garantizando su alineación con tecnologías educativas.

La figura 2 muestra un fragmento de un ejemplo cuyo propósito va más allá de obtener una respuesta técnica, pues busca fomentar una reflexión profunda sobre el significado y la aplicabilidad de los conceptos matemáticos en situaciones reales. El ejemplo aborda la representación de colores como vectores en un espacio tridimensional, configurándose como un artefacto didáctico vinculado al campo del procesamiento de imágenes. A partir de preguntas orientadoras, tales como, ¿qué ocurre cuando se vectorizan imágenes y se suman?, ¿cómo se visualiza la operación de multiplicación de un escalar por una matriz en este ejemplo?, se guía al estudiante hacia la comprensión de la ortogonalidad y sus conceptos asociados.

Este enfoque permite la asimilación de nuevos conceptos mediante la activación de esquemas mentales existentes. Desde la Teoría de la Actividad, el uso de un ejemplo desarrollado como artefacto mediador integra herramientas digitales y representaciones visuales que facilitan la interacción entre el estudiante y el objeto matemático. Como reforzamiento, se proporciona codificación en Python que incluye diferentes librerías como *NumPy* y *Matplotlib*, que los estudiantes ejecutan en consola, o plataformas como *Jupyter Notebook*. La manipulación de representaciones se complementa con actividades colaborativas, donde se discuten implicaciones y se construye colectivamente la transferencia a otros temas o contextos.

Figura 2

Ejemplo de colores representados como vectores en un espacio tridimensional

+ Título: Descomposición de colores y subespacios en \mathbb{R}^3 .
+ Objetivo: Asociar el dominio de procesamiento de imágenes como una representación matricial en la que se pueden ejecutar operaciones de suma, resta, multiplicación por un escalar, por mencionar algunas de ellas.
+ Conceptos previos:
...
+ El problema
Una imagen digital se puede interpretar como una colección de puntos de color llamados píxeles. Cada píxel tiene un color específico representado como un vector $[r \ g \ b]$ que, por sus siglas en inglés r , g y b son rojo, verde y azul, respectivamente. Un valor de 0 en estos componentes, es decir, $[0 \ 0 \ 0]$ indica ausencia total de color, resultando en un píxel negro. Por otro lado, $[255 \ 255 \ 255]$, representa la máxima intensidad de todos los colores, apareciendo como blanco.
... consignas...

Desarrollo de la solución

La representación de matrices en imágenes de color depende del sistema de colores usados para el procesamiento de imágenes. En el problema se usa RGB , en donde cada color varía entre 0 y 255. En el contexto de álgebra lineal, dos vectores en un subespacio (\mathbb{R}^n) son complementos ortogonales, si su producto interno es cero (ecuación 1).

Ecuación 1

$$V^\perp = \{w \in \mathbb{R}^n | v \cdot w = 0, \text{ para todo } v \in V\}$$

Esto significa que no tienen ningún componente en común en la dirección del otro. En términos de colores, esto se traduce en que los colores representados por vectores ortogonales no contribuyen a un mismo tono de gris.

a. Cuando los colores de r , g y b son iguales, el color resultante es un tono de gris. Esto significa que cualquier vector que represente un tono de gris, puede expresarse como $[0.5r \ 0.5g \ 0.5b]$, es decir,

$$u = [gr \ gr \ gr], \quad u \in \mathbb{R}$$

Dado que todos los valores gr tienen la misma proporción, o sea la multiplicación de un escalar por el vector, por ejemplo, el vector $[1 \ 1 \ 1]$ representa un tono de gris en el subespacio de colores \mathbb{R}^3 . Cualquier vector ortogonal a $[1 \ 1 \ 1]$, no tendrá ninguna componente gris y su producto interno será cero, tal es el caso de $[1 \ -1 \ 0]$.

b. Si consideramos que U está generado por el vector $[1 \ 1 \ 1]$. La clave está en encontrar el valor gr que equilibre la intensidad de colores: Para descomponer un vector $[r \ g \ b]$ en sus componentes gris y cromática, podemos usar una proyección ortogonal. La componente gris es un múltiplo de

$$u = \left(\frac{r+v+a}{3}, \frac{r+v+a}{3}, \frac{r+v+a}{3} \right)$$

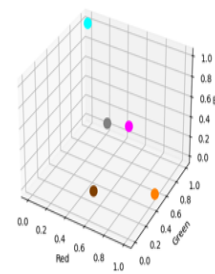
El complemento ortogonal u^\perp contiene la “parte de color” no gris. Esto se puede describir como una componente cromática que es la diferencia entre el vector original y la componente gris $u^\perp = \left(r - \frac{r+v+a}{3}, v - \frac{r+v+a}{3}, a - \frac{r+v+a}{3} \right)$

b. Para crear un gráfico, se empleará el lenguaje de programación de Python, con particular énfasis en la librería de *matplotlib*. Se emplean algunos colores cuyas coordenadas son (Tabla 2):

Un extracto del código está presente en la figura 1:

```
fig=plt.figure()
ax=fig.add_subplot(111, projection='3d')
#graficar cada punto con su color correspondiente
for color in colors:
    ax.scatter(*color, color=color, s=100)
ax.set_xlabel('Red')
ax.set_ylabel('Green')
ax.set_zlabel('Blue')
ax.set_title('Representación 3D de colores RVA')
plt.show()
```

Representación 3D de colores RVA

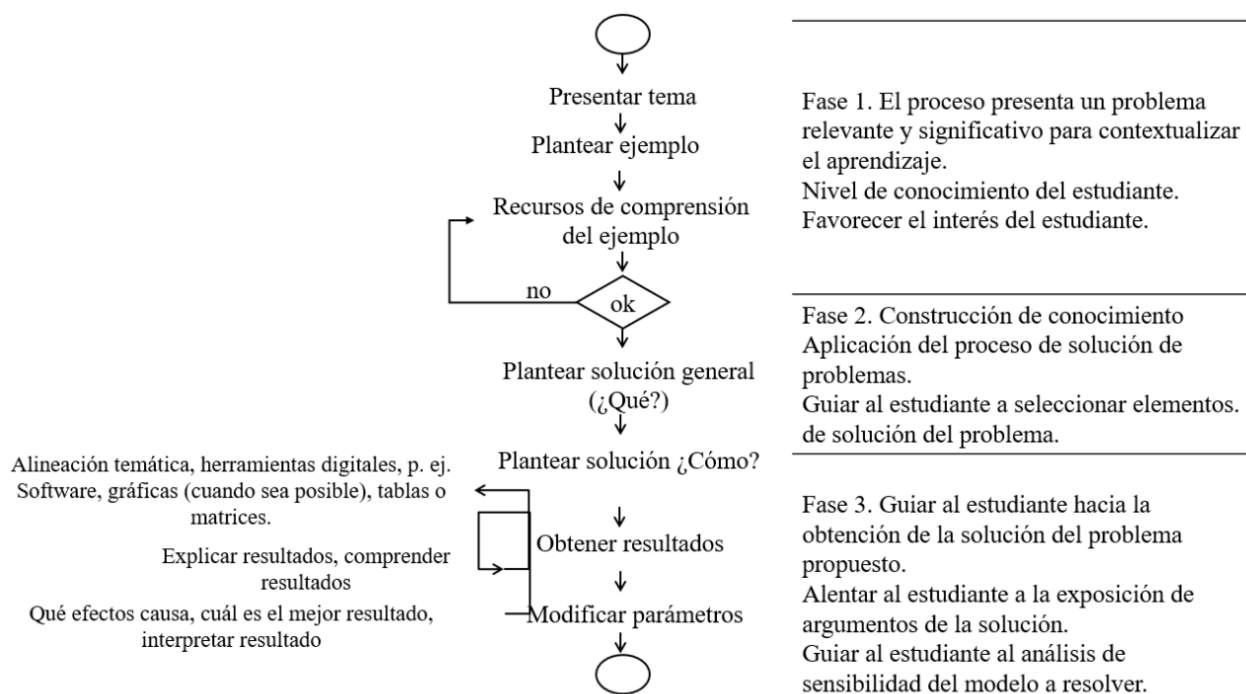


Nota. La figura demuestra el ejemplo desarrollado que aborda la representación de colores como vectores en un espacio tridimensional. Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de garantizar la validez, coherencia y efectividad de la intervención, se definió una Propuesta metodológica para implementar los ejemplos en clase (Figura 3), estructurada en fases secuenciales que orientan el proceso de enseñanza–aprendizaje de manera sistemática. Esta metodología integra la presentación del tema, el uso de recursos digitales, la resolución de problemas y el análisis de resultados, con el propósito de favorecer la comprensión, el desarrollo del pensamiento crítico y la aplicación práctica de los contenidos.

Figura 3

Propuesta metodológica para la implementación de ejemplos en el proceso de enseñanza–aprendizaje



Nota. La figura muestra la propuesta metodológica para la implementación de ejemplos en el proceso de enseñanza–aprendizaje. Fuente: Elaboración propia.

Fase 1: Introducción del proceso contextualizado. Esta etapa se centra en presentar un problema relevante y significativo para contextualizar el aprendizaje. Los docentes emplean estrategias para vincular el conocimiento previo de los estudiantes con el contenido nuevo, utilizando técnicas que fomenten la participación y comuniquen claramente los objetivos de aprendizaje. Estos objetivos funcionan como metas motivadoras que orientan la estrategia didáctica y como fuerza impulsora del proceso educativo.

Fase 2: Desarrollo de estrategias para abordar el problema. En esta fase, el docente propone una experiencia de aprendizaje en la que los estudiantes construyen nuevas

comprensiones mediante la participación. Se promueve un entorno colaborativo que favorece la discusión, el debate y la exploración compartida, elementos clave para la apropiación del contenido.

Fase 3: Obtención de resultados. En esta etapa se enfoca en aplicar el método o estrategia seleccionada para resolver el problema y consolidar el conocimiento adquirido. Se utilizan ejercicios diseñados para reforzar argumentos, evaluar la profundidad de la comprensión y detectar posibles errores conceptuales. El docente interviene oportunamente para corregir malentendidos y fortalecer el aprendizaje.

La integración de ejemplos desarrollados y recursos digitales favorece la comprensión conceptual y procedimental en Álgebra Lineal. Además, promueve la participación activa y reflexión crítica de los estudiantes. Este enfoque, sustentado en la Teoría de la Actividad y el modelo ADDIE, contribuye al desarrollo de habilidades de razonamiento, abstracción y transferencia de conocimientos a distintos contextos, destacando el valor de articular diseño instruccional, tecnología educativa y mediación pedagógica en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

RESULTADOS

Se generaron ejemplos digitales alojados en un sitio web de la universidad. El desempeño académico representó la variable dependiente, que refleja el logro académico alcanzado por los estudiantes. La evaluación incluyó problemas de resolución, aplicación y reactivos de interpretación conceptual. Las pruebas de desempeño fueron revisadas por ambos docentes y otros especialistas en evaluación, para asegurar su validez de contenido.

El promedio de resultados de evaluación de los estudiantes del grupo del control fue de 6.57, con una desviación estándar de 1.73. El grupo experimental obtuvo un promedio de 7.43,

con una desviación estándar de 1.07. La gráfica de caja muestra claramente la diferencia en el rendimiento entre los grupos (Figura 4).

Figura 4

Comparación del desempeño entre el grupo de control y el grupo experimental



Nota. El gráfico de caja evidencia la diferencia en el rendimiento obtenido por ambos grupos.

Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar la prueba de Chi-cuadrada, se realizó una comparación categórica de niveles de desempeño académico, de acuerdo con los criterios institucionales utilizados para clasificar el logro de estudiantes. El estadístico de prueba fue $\chi^2 = 10.02$, con dos grados de libertad, considerando el grupo por nivel de desempeño, con un valor p de 0.0401. Dado que el valor p es menor que 0.05, existe una diferencia significativa en la distribución de las categorías de calificación entre los grupos de control y experimental.

Asimismo, debido a que no se tenía certeza sobre la normalidad de datos, se aplicó la prueba de Mann-Whitney. El análisis arrojó un estadístico $u = 277$ y un valor p de 0.0067, lo cual indica que los puntajes del grupo experimental fueron significativamente mayores que los del grupo de control. Como medida complementaria, se calculó el tamaño del efecto, a través de la d

de Cohen, obteniéndose un valor de 0.808, que evidencia un efecto grande. Esto sugiere que la diferencia entre los grupos es estadísticamente significativa y educativamente relevante.

La revisión por pares recomendó incorporar entrevistas semiestructuradas para profundizar en las experiencias individuales de los estudiantes. La participación fue voluntaria y se explicó la relevancia de explorar sus percepciones sobre la utilidad de los ejemplos desarrollados, las dificultades encontradas, las propuestas de mejora y la vinculación de los conceptos con situaciones reales. En total, participaron diez estudiantes del grupo experimental. El contenido de las respuestas se registró y analizó con la herramienta Atlas.Ti, lo que permitió codificar comentarios y determinar categorías

Como se presenta en la Tabla 1, a cada categoría de análisis se le asignaron dimensiones específicas derivadas de los segmentos de información obtenidos en las entrevistas. Este proceso permitió organizar y depurar los datos, identificando regularidades que emergieron de manera inductiva. A partir de ello, se establecieron cuatro patrones centrales: comprensión conceptual, aplicación práctica, motivación y sugerencias de mejora, los cuales ofrecen una estructura analítica coherente para interpretar las percepciones y experiencias de los participantes frente a la intervención educativa.

Tabla 1

Identificación de categorías

Categoría	Dimensiones	Ejemplificación de comentario
Comprensión conceptual	Nombrar, reconocer y describir un concepto. Distinción a través de comparar propiedades. Representación de conceptos matemáticos. Generalización al distinguir propiedades globales, o principio unificador.	<i>“visualizar mejor”, “ahora entiendo mejor lo que significa un vector”.</i>
Aplicación práctica	Aplicación profesional/ Transferencia a contextos técnicos. Transferencia interdisciplinaria/ aplicación en tecnología.	<i>“lo usé en mi clase de cálculo vectorial y funcionó”, “no estoy segura, pero creo que en cualquier ingeniería donde tengas que estructurar datos y analizarlos”.</i>

	Conexión curricular/ transferencia a otras asignaturas. Percepción global de utilidad.	
Motivación	Interés por el contenido Percepción de utilidad Autonomía Participación Percepción de autoeficacia	<i>“me gustó ver cómo se aplican los conceptos en cosas reales”, “me gustó discutir los ejemplos”, “me gustó la relación de vectores e imágenes”.</i>
Sugerencias de mejora	Interactividad Diversidad de ejemplos Accesibilidad	<i>“más ejemplos interactivos”, “más libertad de modificar los ejemplos”, “al principio me costó entender los ejemplos”.</i>

Nota. La tabla resume las categorías, dimensiones y comentarios identificados en las entrevistas semiestructuradas. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación de ejemplos digitales tuvo un impacto positivo en el desempeño académico de los estudiantes del grupo experimental, en términos cuantitativos y cualitativos. Las pruebas estadísticas demostraron diferencias significativas entre los grupos, con un efecto educativo relevante, mientras que las entrevistas semiestructuradas permitieron identificar patrones de comprensión conceptual, aplicación práctica, motivación y sugerencias de mejora, lo que aporta información valiosa sobre la percepción de los estudiantes frente a la intervención. Estos hallazgos sugieren que los recursos digitales pueden favorecer la apropiación de conceptos y su transferencia a contextos reales, constituyendo una estrategia efectiva para potenciar el aprendizaje.

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue investigar cómo ejemplos desarrollados, diseñados a partir de la Teoría de la Actividad y el modelo ADDIE, pueden favorecer el aprendizaje de estudiantes en Álgebra Lineal que han tenido un acercamiento limitado con la asignatura (Serbin et al., 2020; Harel, 2017) y uso de tecnología educativa (Caglayan, 2018). Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la implementación de estos ejemplos digitales contribuye a la comprensión

conceptual, aplicación práctica y motivación de los estudiantes, apoyando su aprendizaje significativo.

El trabajo de Gerónimo-Bautista & Ochoa-Rosas (2025) representa un antecedente regional que muestra la exitosa aplicación de la Teoría de la Actividad en contextos universitarios latinoamericanos. Los resultados indicaron que la comparación de ejemplos desarrollados tuvo una mejora significativa en relación con el grupo de control, lo cual coincide con Anastasakis et al. (2022). Desde una perspectiva cualitativa, el apoyo didáctico se evidenció cuando los estudiantes reconocieron conceptos algebraicos más avanzados que los previamente conocidos y señalaron posibles aplicaciones del Álgebra Lineal en distintos contextos, lo que coincide con lo planteado por Wesenberg et al. (2025).

Los resultados obtenidos, tanto cuantitativos como cualitativos, sugieren que el uso de ejemplos digitales desarrollados como artefactos instruccionales pueden mejorar significativamente la comprensión de conceptos abstractos de Álgebra Lineal, especialmente en contextos de ingeniería, conforme lo menciona Villalba et al. (2025). Esta mejora se refleja en el desempeño académico y la percepción de utilidad de los contenidos. Las implicaciones apuntan a la necesidad de integrar recursos contextualizados y diseñados didácticamente en la enseñanza de disciplinas matemáticas, favoreciendo la transferencia del aprendizaje hacia escenarios profesionales.

Los hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la dificultad en la comprensión del Álgebra Lineal (Carlson, 1993; Harel, 2017), así como la efectividad de los ejemplos desarrollados para la comprensión (Wesenberg et al., 2025). Este estudio aporta la eficacia de la Teoría de la Actividad como marco para analizar la interacción entre estudiantes, artefactos digitales y contexto, lo que permite una lectura más rica de los procesos de aprendizaje.

A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en la cognición individual, este estudio considera el sistema de actividad como unidad de análisis.

Una de las principales limitaciones del estudio radica en el tamaño reducido de la muestra y su concentración en un único contexto educativo, lo que restringe la posibilidad de generalizar los resultados a otros entornos institucionales o poblaciones estudiantiles. Esta característica es común en estudios exploratorios o de intervención piloto, donde el objetivo principal es validar el diseño y observar tendencias más que establecer conclusiones definitivas (Barbieri et al., 2023).

Aunque se aplicaron instrumentos cuantitativos con criterios de validez de contenido, su alcance se vio limitado por la duración acotada de la intervención. En particular, el análisis cualitativo se vio afectado por el calendario académico, ya que los estudiantes entraron en periodo vacacional, lo que restringió la posibilidad de realizar entrevistas de seguimiento. Esta situación pudo haber limitado la profundidad interpretativa de los datos.

La Teoría de la Actividad permitió interpretar los resultados como parte de un sistema dinámico en el que los ejemplos actúan como artefactos mediadores entre el sujeto (estudiante) y objeto (contenido matemático). El modelo ADDIE, por su parte, estructuró el diseño instruccional de los ejemplos, asegurando coherencia entre fases y permitiendo ajustes iterativos. Los datos cuantitativos mostraron una mejora significativa en el grupo experimental, mientras que las respuestas cualitativas evidenciaron procesos de transferencia, apropiación conceptual y motivación, lo que refuerza la validez del enfoque teórico adoptado.

CONCLUSIONES

A partir de la Teoría de la Actividad, se desarrolló una estructura instruccional basada en un modelo de tres fases, articulado mediante el enfoque ADDIE. Los estudiantes expuestos a este modelo obtuvieron mejores resultados en comparación con aquellos instruidos mediante otros métodos tradicionales, lo que proporciona evidencia sobre el impacto pedagógico de integrar marcos teóricos robustos con diseño instruccional sistemático. El uso de ejemplos desarrollados, en forma digital, complementados con codificaciones en Python, tiene las posibilidades de reducir la carga cognitiva y mejorar la comprensión de conceptos claves de Álgebra Lineal. Esta mediación digital facilitó el acceso a representaciones diversas y promovió la transferencia hacia contextos profesionales de ingeniería.

La aplicación de Teoría de la Actividad permitió que los materiales instruccionales se mantuvieran alineados con los objetivos de aprendizaje, respondieran a las necesidades del alumnado y fueran evaluados de manera sistemática. Aunque la preparación previa de los estudiantes en el manejo de herramientas digitales pudo haber influido en los resultados, el hallazgo central indica que la mediación tecnológica aporta un valor significativo al desarrollo de habilidades matemáticas de alto nivel. Si bien no se descarta la utilidad de los métodos tradicionales, este estudio sugiere que el cuerpo docente debe considerar la efectividad de los enfoques digitales bajo condiciones específicas, como el perfil cognitivo de los estudiantes, su dominio tecnológico y la naturaleza del contenido matemático.

El modelo propuesto tiene potencial de generalización en contextos educativos similares, siempre que se realicen adaptaciones pertinentes a las características institucionales y curriculares. Con ello, plantea la posibilidad de extender esta intervención a otras áreas de matemáticas

universitarias, así como de desarrollar líneas que exploren el impacto de los artefactos digitales en la formación matemática, tanto para entornos virtuales como presenciales.

AGRADECIMIENTOS

El artículo ha sido posible gracias al apoyo recibido de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través del proyecto PAPIME PE101224.

BIBLIOGRAFÍA

Anastasakis, M., Zakynthinaki, M., Trujillo-González, R., García-Alonso, I. & Petridis, K. (2022).

An activity theory approach in explaining engineering students' difficulties with university mathematics. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(6), 1571-1587. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2020.1834156>

Barbieri, C.A., Miller-Cotto, D., Clerjuste, S.N. & Chawla, K. (2023). A Meta-analysis of worked examples effect on mathematics performance. *Educational Psychology Review*, 35(11). <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09745-1>

Bernier, J. & Zandieh, M. (2024). Comparing student strategies in a game-based and pen-and-paper task for linear algebra. *The Journal of Mathematical Behavior*, 73, 1-50. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2023.101105>

Burner, T. & Svendsen, B. (2020). Activity Theory -Lev Vygotsky, Aleksei Leont'ev, Yrjö Engeström. En B. Akpan & T.J. Kennedy (Eds.). *Science Education in Theory and practice. An Introductory Guide to Learning Theory* (pp. 311-322). Springer Texts in Education, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9>

Caglayan, G. (2018). Coordinating analytic and visual approaches: Math majors' understanding of orthogonal Hermite polynomials in the inner product space $P_n \mathbb{R}$ in a technology-assisted

- learning environment. *The Journal of Mathematical Behavior*, 52, 37-60.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2018.03.006>
- Carlson, D. (1993). Teaching Linear Algebra: Must the Fog Always Roll in? *The College Mathematics Journal*, 24(1), 29-40. <https://doi.org/10.1080/07468342.1993.11973503>
- Castle, S.D. (2023). *Coding for creativity: Exploring the impact of computing enacted through coding on student's mathematical creativity in linear algebra*. [Tesis de doctorado, Michigan State University]. ERIC. <https://www.proquest.com/docview/2838149539>
- Dogan, H. (2018). Differing instructional modalities and cognitive structures: Linear algebra. *Linear Algebra and its Applications*, 542, 464-483.
<https://doi.org/10.1016/j.laa.2017.07.007>
- Engeström, Y. (2014). Activity Theory and Learning at Work. En U. Deinet & C. Reutlinger, (Eds.). *Tätigkeit - Aneignung - Bildung. Sozialraumforschung und Sozialraumarbeit*, vol 15 (pp. 67-68). Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-02120-7_3
- Fredriksen, H. & Hadjerrouit, S. (2020). An activity theory perspective on contradictions in flipped mathematics classrooms at the university level. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 51(4), 520-541.
<https://doi.org/10.1080/0020739X.2019.1591533>
- Gerónimo-Bautista, E., & Ochoa-Rosas, E. (2025). La importancia de la Teoría de la Actividad en el contexto educativo universitario. *Estrategias, Metodologías & Didácticas Educativas*, 5(1), 72-83. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10360081>
- Harel, G. (2017). The learning and teaching of linear algebra: Observations and generalizations. *The Journal of Mathematical Behavior*, 46, 69-95.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2017.02.007>

Nguyen, P.L., Nguyen, P.P.O., Nguyen, P.T., Trang, V.D. & Le, V.M.T. (2022) Activity theory as a framework for teaching mathematics: An experimental study. *Heliyon*, 8(10).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10789>

Periasamy, J. (2012). *Student's motivations and actions when they learn mathematics using CAS: A study using an activity theory approach*. [Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Wits School of Education, Faculty of Humanities, University of the Witwatersrand]. ETD Collection, Johannesburg.

<https://wiredspace.wits.ac.za/items/81dbc247-d6f3-489b-84cf-98d79e59d25d>

Renkl, A. (2021). The worked example principle in multimedia learning. En R.E. Mayer, & L. Fiorella (Eds.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3rd. ed.) (pp. 231-240). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.023>

Seel, N.M., Lehmann, T., Blumschein, P. & Podolskiy, O.A. (2017). *Instructional Design for Learning. Theoretical Foundations*. Sense Publishers, Rotterdam.

https://doi.org/10.1007/978-94-6300-941-6_3

Serbin, K.S., Sánchez, B.J., Truman, J.V., Watson, K.L. & Wawro, M. (2020). Characterizing quantum physics students' conceptual and procedural knowledge of the characteristic equation. *The Journal of Mathematical Behavior*, 58.

<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2020.100777>

Sweller, J. & Cooper, G.A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), 59-89.

<https://www.jstor.org/stable/3233555>

- Taguchi, Yh. (2020). Introduction to Linear Algebra. En *Unsupervised Feature Extraction Applied to Bioinformatics. Unsupervised and Semi-Supervised Learning*. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-22456-1_1
- Thomas, S. (2012). *An activity theory analysis of linear algebra teaching within university mathematics*. [Doctoral thesis, Loughborough University]. Loughborough.
<https://hdl.handle.net/2134/9843>
- Treffert-Thomas, S. (2015). Conceptualising a university teaching practice in an activity theory perspective. *NOMAD Nordic Studies in Mathematics Education*, 20(2), 53–77.
<https://doi.org/10.7146/nomad.v20i2.148679>
- Villalba, C.E., Mocencahua, D. & Sánchez, L.A. (2025). Aplicación del modelo ADDIE para la creación de un centro virtual de aprendizaje en conceptos básicos de electrónica. *Revista Brasileña de Informática Educativa*, 33, 347-370. <https://doi.org/10.5753/rbie.2025.5113>
- Wesenberg, L., Krieglstein, F., Jansen, S., Günter, D.R. & Sascha, S. (2025). Teaching with worked examples- Why the selection of problems for exemplification is critical. *Contemporary Educational Psychology*, 80, 1-17.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2024.102328>
- Xiangkui, Z. (2024). Activity Theory of Learning. En Z. Kan. (ed.). *The ECPH Encyclopedia of Psychology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7874-4_1063