

Transforming Engineering Education with Artificial Intelligence and Digital Storytelling: Evidence from Learning, Motivation, and Competency Development

Adrián Isrrael Tec Chim¹; Jose M. Nieto-Jalil¹; Jorge Alvarez¹, Juan Manuel Martínez Huerta¹

¹Tecnologico de Monterrey, School of Engineering and Science, Monterrey, México.

adriant@tec.mx

Abstract— *In the context of the ongoing transformation of engineering education driven by artificial intelligence, this study examines the impact of digital storytelling co-created with generative AI as an innovative pedagogical strategy to enhance learning, motivation, and competency development in STEM environments. The intervention was implemented in an undergraduate course on Analysis of Electromagnetic Systems, involving 170 university students divided into an experimental group (n = 90) and a control group (n = 80). The central challenge required students in the experimental group to explain a complex STEM concept to a non-expert audience through scientific narratives supported by generative AI tools such as ChatGPT, Midjourney, and Runway, integrating textual, visual, and audiovisual resources. In contrast, the control group addressed the same technical content using traditional instructional strategies based on conventional technical reports. Results show statistically significant improvements in the experimental group across technical competencies, including mathematical modeling, programming, and visualization, as well as transversal competencies such as scientific communication, critical thinking, and collaboration. A strong correlation was also identified between student motivation and academic performance ($r = 0.79$, $p < 0.001$). Inferential analyses using t-tests, ANOVA, and regression models confirmed a medium-to-high effect size. Overall, the findings indicate that the intentional pedagogical integration of artificial intelligence with digital storytelling fosters dual coding, meaningful learning, deeper conceptual understanding, and sustained student engagement. Aligned with the Tec21 educational model and Sustainable Development Goal 4 (Quality Education), this study provides robust empirical evidence.*

Keywords—*Engineering education, Generative artificial intelligence, Digital storytelling, Student motivation, Transversal competencies, Educational innovation.*

Transformando la Educación en Ingeniería con Inteligencia Artificial y Storytelling Digital: Evidencia sobre Aprendizaje, Motivación y Desarrollo de Competencias

Adrián Isrrael Tec Chim¹; Jose M. Nieto-Jalil¹; Jorge Alvarez¹, Juan Manuel Martínez Huerta¹

¹Tecnológico de Monterrey, School of Engineering and Science, Monterrey, México.

adriant@tec.mx

Abstract—En el contexto de la transformación actual de la educación en ingeniería impulsada por la inteligencia artificial, este estudio examina el impacto del storytelling digital co-creado con IA generativa como una estrategia pedagógica innovadora para fortalecer el aprendizaje, la motivación y el desarrollo de competencias en entornos STEM. La intervención se implementó en un curso de licenciatura sobre Análisis de Sistemas Electromagnéticos, con la participación de 170 estudiantes universitarios divididos en un grupo experimental ($n = 90$) y un grupo de control ($n = 80$). El reto central requirió que los estudiantes del grupo experimental explicaran un concepto STEM complejo a una audiencia no experta mediante narrativas científicas apoyadas por herramientas de IA generativa como ChatGPT, Midjourney y Runway, integrando recursos textuales, visuales y audiovisuales. En contraste, el grupo de control abordó el mismo contenido técnico utilizando estrategias instruccionales tradicionales basadas en reportes técnicos convencionales. Los resultados muestran mejoras estadísticamente significativas en el grupo experimental en competencias técnicas, incluyendo modelado matemático, programación y visualización, así como en competencias transversales como comunicación científica, pensamiento crítico y colaboración. Asimismo, se identificó una correlación fuerte entre la motivación estudiantil y el desempeño académico ($r = 0.79$, $p < 0.001$). Los análisis inferenciales mediante pruebas t , ANOVA y modelos de regresión confirmaron un tamaño del efecto medio-alto. En conjunto, los hallazgos indican que la integración pedagógica intencional de la inteligencia artificial con el storytelling digital favorece la codificación dual, el aprendizaje significativo y la comprensión conceptual.

Keywords—Educación en ingeniería, Inteligencia artificial generativa, Storytelling digital, Motivación estudiantil, Competencias transversales, Innovación educativa.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las disciplinas STEM enfrenta hoy uno de sus mayores retos: formar profesionales capaces de dominar conocimientos técnicos rigurosos y, al mismo tiempo, desarrollar habilidades transversales que les permitan comprender, comunicar y transferir conocimiento científico en contextos reales [1], [2]. En áreas como el electromagnetismo, esta dificultad se ve acentuada por el alto

nivel de abstracción matemática y conceptual que demandan estos contenidos, impactando directamente el aprendizaje significativo y la motivación estudiantil [3].

A pesar de los avances en recursos digitales, simuladores y laboratorios virtuales, la enseñanza del electromagnetismo continúa centrada en muchos casos en la resolución mecánica de ejercicios y la reproducción de procedimientos matemáticos [4], [5]. Este enfoque puede limitar la comprensión conceptual profunda, afectar negativamente la motivación, y restringir el desarrollo equilibrado de competencias técnicas y transversales, elementos clave en la formación profesional en ingeniería.

En este contexto, han surgido enfoques pedagógicos innovadores como el storytelling digital, el cual ha demostrado favorecer la comprensión y la retención del conocimiento mediante la integración de narrativas, imágenes y elementos audiovisuales [6], [7]. La incorporación de inteligencia artificial generativa amplía estas posibilidades al facilitar la creación de contenidos multimodales personalizados [8], permitiendo evaluar de sus efectos en el aprendizaje, la motivación y el desarrollo de competencias en entornos STEM.

Este estudio se desarrolla en la unidad de formación Análisis de sistemas electromagnéticos en sistemas ingenieriles del Tecnológico de Monterrey y forma parte de una intervención educativa alineada con los principios del Modelo Tec21, el cual promueve el aprendizaje basado en retos auténticos, la integración crítica de tecnologías emergentes y el desarrollo de competencias orientadas a la sostenibilidad y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 4 (Educación de calidad) [8], [9]. A partir de estas consideraciones, se planteó el siguiente reto formativo:

¿cómo explicar un concepto STEM complejo a una audiencia no experta mediante narrativas científicas apoyadas por inteligencia artificial generativa sin perder rigor técnico y generando mejoras medibles en el aprendizaje, la motivación y el desarrollo de competencias?

Para responder a esta pregunta, se trabajó con una población de 170 estudiantes universitarios, distribuidos en un

grupo experimental ($n = 90$) y un grupo de control ($n = 80$). Ambos grupos abordaron el modelado, la simulación y la validación de un motor lineal electromagnético utilizando herramientas como MATLAB y Tracker; sin embargo, el grupo experimental transformó sus resultados técnicos en narrativas científicas mediadas por inteligencia artificial (ChatGPT, Midjourney y Runway), mientras que el grupo de control presentó reportes técnicos tradicionales [10].

El objetivo de este estudio es analizar y cuantificar el uso del storytelling digital apoyado por inteligencia artificial generativa como estrategia pedagógica en la educación en ingeniería, evaluando sus efectos en el aprendizaje, la motivación y el desarrollo de competencias técnicas y transversales mediante un diseño cuasi-experimental con grupo de control y grupo experimental.

II. DISEÑO DEL ESTUDIO

El presente estudio fue concebido como una intervención educativa orientada a evaluar de manera empírica y cuantitativa el impacto pedagógico de la integración del storytelling digital co-creado con inteligencia artificial generativa en contextos de educación en ingeniería. El diseño tuvo como objetivo promover la comprensión conceptual profunda, el pensamiento computacional y el desarrollo de competencias transversales esenciales en entornos STEM, tales como la comunicación científica, la colaboración y la reflexión crítica sobre el uso del conocimiento científico.

La intervención se implementó en la unidad de formación Análisis de sistemas electromagnéticos en sistemas ingenieriles del Tecnológico de Monterrey, bajo el marco del Modelo Tec21. Dicho modelo enfatiza el aprendizaje activo basado en retos auténticos, la integración crítica de tecnologías emergentes y la formación de competencias alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 4 (Educación de calidad). En este contexto, la inteligencia artificial generativa no se utilizó como una herramienta aislada, sino como un mediador pedagógico integrado de manera deliberada y pedagógicamente guiada al proceso formativo:

A. Población y estructura del estudio

La muestra estuvo conformada por 170 estudiantes universitarios, distribuidos en dos grupos con condiciones equivalentes de acceso tecnológico y evaluación:

- Grupo experimental ($n = 90$): empleó herramientas de inteligencia artificial generativa (ChatGPT, Midjourney y Runway) para diseñar narrativas científicas audiovisuales como producto final del reto formativo.
- Grupo de control ($n = 80$): abordó el mismo desafío técnico mediante estrategias tradicionales, centradas en el análisis ingenieril y la elaboración de reportes escritos convencionales.

Ambos grupos trabajaron sobre un desafío técnico común: el modelado, la simulación y la validación de un motor lineal electromagnético, utilizando herramientas compartidas como MATLAB para la simulación numérica y Tracker para la validación experimental. Esta decisión permitió aislar el enfoque pedagógico como la variable central del estudio.

B. Fases metodológicas del reto

La intervención se desarrolló a través de tres fases secuenciales e integradas, diseñadas para fomentar simultáneamente competencias técnicas y habilidades de comunicación científica:

Fase 1. Fundamentación interdisciplinaria. Se abordaron los fundamentos físicos y matemáticos del sistema electromagnético, incluyendo la fuerza de Lorentz, la ley de Faraday, las bobinas. Ambos grupos accedieron a los mismos recursos técnicos y guías de análisis. No obstante, el grupo experimental complementó esta exploración mediante narrativas generadas con IA, utilizando analogías y metáforas orientadas a activar conocimientos previos y establecer conexiones interdisciplinarias.

Fase 2. Modelado computacional y validación. Los estudiantes resolvieron cuatro escenarios físicos del motor lineal: movimiento sin fuente de voltaje, movimiento con voltaje constante, inclusión de fricción y frenado electromagnético por campo inducido. Ambos grupos emplearon MATLAB para la resolución y visualización de los modelos, así como Tracker para la obtención de datos experimentales reales. Sin embargo, las experiencias pedagógicas difirieron significativamente: el grupo de control ejecutó códigos base con adaptaciones limitadas, mientras que el grupo experimental utilizó inteligencia artificial generativa para validar ecuaciones, modular scripts, generar visualizaciones avanzadas y automatizar comparaciones entre escenarios, integrando de forma explícita la evidencia experimental.

Fase 3. Comunicación científica mediante storytelling digital. Mientras que el grupo de control presentó reportes técnicos tradicionales, el grupo experimental transformó sus resultados en productos narrativos de comunicación científica, incluyendo videos explicativos (guiones desarrollados con ChatGPT, visuales generados con Midjourney y edición con Runway), infografías científicas y un documento reflexivo sobre el uso responsable y pedagógico de la inteligencia artificial en educación. Estas producciones fueron evaluadas no solo por su precisión técnica, sino también por su claridad, creatividad y accesibilidad para audiencias no expertas.

C. Instrumentos de evaluación

Para evaluar el impacto de la intervención, se empleó un enfoque mixto que integró:

- Pruebas diagnósticas y de retención (pre-test y post-test).
- Rúbricas estandarizadas para la evaluación de competencias técnicas y narrativas.
- Escalas tipo Likert para medir motivación, engagement, percepción tecnológica y claridad conceptual ($\alpha > 0.87$).
- Registros de uso de herramientas de inteligencia artificial.
- Entrevistas semiestructuradas y análisis de contenido de los productos comunicativos.

Las rúbricas estandarizadas utilizadas en el estudio evaluaron cinco dimensiones técnicas fundamentales: modelado matemático, programación en MATLAB, análisis gráfico, calidad de visualización y validación experimental. Adicionalmente, en el grupo experimental se incorporó la evaluación de competencias transversales relacionadas con comunicación científica, creatividad, colaboración y reflexión ética mediante productos narrativos desarrollados con apoyo de inteligencia artificial. Cada dimensión fue evaluada mediante una escala de 100 puntos con descriptores de desempeño previamente definidos, garantizando consistencia, objetividad y condiciones equivalentes de evaluación entre ambos grupos.

D. Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó mediante técnicas cuantitativas que incluyeron:

- Pruebas t para muestras independientes, orientadas a identificar diferencias significativas entre grupos.
- ANOVA unifactorial para evaluar el efecto del tipo de intervención sobre la ganancia normalizada.
- Correlaciones de Pearson entre el uso de inteligencia artificial y el desempeño académico.
- Visualizaciones gráficas de carácter interpretativo, incluyendo gráficos radar, de dispersión, de barras y mapas de calor.

E. Comparación metodológica entre grupos

Ambos grupos utilizaron las mismas herramientas tecnológicas (MATLAB y Tracker) y fueron evaluados bajo criterios de desempeño equivalentes, como se muestra en la Tabla I. Esta decisión metodológica permitió controlar variables externas y garantizar que cualquier diferencia observada en aprendizaje, motivación o desarrollo de competencias fuera atribuible exclusivamente al enfoque pedagógico implementado. En conjunto, este diseño refuerza la validez interna del estudio y aporta solidez a la interpretación de los resultados obtenidos.

Tabla I. Comparación metodológica entre grupos

Elemento	Grupo Experimental	Grupo de Control
Resolución matemática	Modelado computacional con validación guiada por IA	Adaptación de modelos base sin apoyo externo
Codificación en MATLAB	Scripts con asistencia de ChatGPT (legibles, modulares, visuales)	Códigos estándar con enfoque de ejecución técnica
Visualización y simulación	Gráficas interactivas, comparación entre modelos, animaciones	Gráficas tradicionales estáticas
Validación experimental	Tracker integrado al modelo, comparación numérico-empírico	Tracker usado como medición auxiliar sin

		integración al análisis
Producto final	Video narrativo, infografía, reflexión ética sobre IA	Reporte técnico en Word/PDF
Narrativa científica	Guion generado con IA, visuales sintéticos, edición audiovisual	No considerado
Reflexión ética	Documento reflexivo obligatorio sobre uso responsable de la IA y comunicación científica	No incluido
Evaluación de competencias	Técnicas, comunicativas, transversales y éticas	Técnicas y operativas
Rol del docente	Mentor interdisciplinario y facilitador ético	Facilitador técnico de contenido

Esta tabla sintetiza de manera clara las diferencias clave entre los enfoques pedagógicos implementados en ambos grupos. Si bien los estudiantes utilizaron las mismas herramientas tecnológicas (MATLAB y Tracker) y trabajaron hacia las mismas competencias de aprendizaje, el grupo experimental incorporó la inteligencia artificial generativa y el storytelling digital como ejes transformadores del proceso formativo. Esta integración permitió trascender la ejecución técnica de modelos, favoreciendo una comprensión conceptual más profunda, una validación experimental más rigurosa, una comunicación científica más clara y accesible, así como una reflexión ética explícita sobre el uso de la inteligencia artificial en educación en ingeniería.

Este diseño metodológico permitió aislar de manera precisa el efecto del uso de narrativas co-creadas con inteligencia artificial generativa como la variable pedagógica central de la intervención. Al mantener constantes tanto las herramientas tecnológicas empleadas como los criterios de evaluación aplicados en ambos grupos, se garantizó que las diferencias observadas en el desempeño académico, la motivación, el engagement y la claridad conceptual fueran atribuibles exclusivamente al enfoque narrativo-digital implementado en el grupo experimental. Esta estrategia de control refuerza la validez interna del estudio y otorga solidez a la interpretación de los resultados, permitiendo atribuir de manera confiable las diferencias observadas en aprendizaje, motivación y desarrollo de competencias al enfoque pedagógico implementado.

En la sección siguiente se presentan los resultados cuantitativos y cualitativos derivados de las mediciones diagnósticas, post y de retención, acompañados de visualizaciones gráficas de carácter interpretativo. Dichas visualizaciones permiten contrastar el desempeño de ambos grupos en términos de competencias técnicas, comprensión conceptual y la relación entre motivación y rendimiento académico. En conjunto, estos hallazgos aportan evidencia empírica que respalda el potencial de esta propuesta educativa como un modelo replicable, escalable y pedagógicamente fundamentado para la innovación en la enseñanza universitaria en contextos STEM.

III. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

La evaluación del impacto educativo de la intervención se llevó a cabo mediante un enfoque mixto que integró análisis cuantitativos y cualitativos, con el propósito de examinar de manera empírica y medible el desarrollo de competencias técnicas, la comprensión conceptual, la motivación y el engagement estudiantil. Para ello, se utilizó una combinación de pruebas diagnósticas, post y de retención, escalas tipo Likert previamente validadas y visualizaciones comparativas de carácter interpretativo.

A. Evolución de las habilidades técnicas con apoyo de inteligencia artificial.

Una de las dimensiones centrales de esta intervención fue el fortalecimiento de las competencias técnicas asociadas al modelado electromagnético, consideradas como indicadores directos del aprendizaje en educación en ingeniería. Con el fin de evaluarlas de manera sistemática, se diseñó una rúbrica enfocada en cinco áreas fundamentales del desempeño en ingeniería: modelado matemático, programación en MATLAB, visualización de sistemas físicos, análisis gráfico y validación experimental. Dicha rúbrica se aplicó al inicio y al final del reto en ambos grupos, lo que permitió medir no solo el nivel de logro alcanzado, sino también la progresión individual y colectiva de los estudiantes.

Es importante destacar que ambos grupos utilizaron las mismas herramientas tecnológicas (MATLAB y Tracker) y fueron evaluados bajo criterios idénticos; sin embargo, el grupo experimental integró inteligencia artificial generativa como un agente pedagógico de acompañamiento durante todo el proceso formativo, lo que permite atribuir de manera directa las diferencias observadas en el aprendizaje técnico al enfoque pedagógico implementado. Este acompañamiento se manifestó en múltiples etapas, desde la construcción inicial de los modelos, la depuración de ecuaciones y la generación de visualizaciones interactivas, hasta la interpretación argumentada de los resultados obtenidos. Esta integración no solo facilitó la comprensión conceptual, sino que promovió una apropiación activa y reflexiva del conocimiento ingenieril.

Como se observa en las Figuras 1(a) y 1(b), las gráficas tipo radar permiten visualizar con claridad la evolución de las competencias técnicas en ambos grupos. Mientras que el grupo de control muestra un crecimiento lineal moderado [Fig. 1(a)], el grupo experimental evidencia una progresión significativamente mayor en todas las áreas evaluadas, con incrementos particularmente notorios en visualización y análisis gráfico [Fig. 1(b)]. Estos resultados sugieren que la mediación narrativa apoyada por IA favoreció no solo la resolución de modelos, sino también su explicación estructurada, fortaleciendo la coherencia, la lógica y la claridad de las simulaciones desarrolladas.

Adicionalmente, se observó que la retroalimentación instantánea proporcionada por ChatGPT durante la programación en MATLAB permitió a los estudiantes del grupo experimental explorar un mayor número de escenarios físicos, identificar errores con mayor rapidez y construir representaciones más completas y precisas del comportamiento del sistema electromagnético. Este proceso contribuyó a consolidar un aprendizaje más profundo, autónomo y significativo desde la perspectiva de la educación en ingeniería.

Grupo de Control: Competencias Técnicas (ajustado)

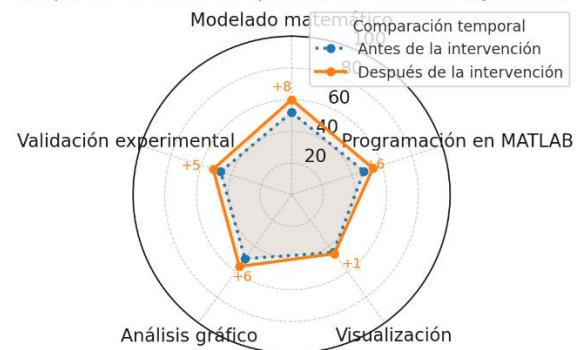


Figura 1(a). Competencias técnicas del grupo de control. Gráfico radar que representa el desempeño promedio inicial y final del grupo de control en cinco áreas técnicas clave del modelado electromagnético. Los resultados evidencian una mejora moderada y homogénea en todos los indicadores, consistente con un enfoque de aprendizaje tradicional centrado en la ejecución técnica de los modelos.

Grupo Experimental: Competencias Técnicas (ajustado)

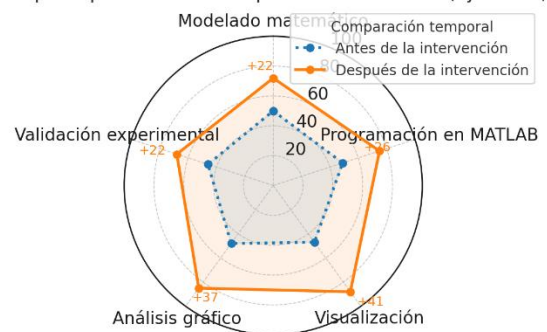


Figura 1(b). Competencias técnicas del grupo experimental. Gráfico radar que muestra una progresión significativa en todas las competencias técnicas evaluadas, con mejoras particularmente destacadas en visualización y análisis gráfico. Estos resultados reflejan el efecto del uso de inteligencia artificial generativa como mediador pedagógico para estructurar, interpretar y comunicar modelos electromagnéticos de manera más clara y coherente.

B. Cuando la motivación impulsa el rendimiento: análisis estadístico.

La motivación constituye una dimensión crítica en la educación universitaria y un factor explicativo clave del desempeño académico, particularmente en contextos de formación en ingeniería, donde la complejidad conceptual de los contenidos puede influir de manera significativa en el compromiso estudiantil. Esta motivación puede manifestarse tanto en su dimensión intrínseca (curiosidad, autonomía y sentido de propósito) como en su dimensión extrínseca (reconocimiento, calificación e impacto social del aprendizaje). En este estudio, se analizó la relación entre la motivación y el desempeño final de los estudiantes en la resolución del reto formativo, diferenciando entre aquellos que emplearon estrategias tradicionales y quienes integraron narrativas científicas mediadas por inteligencia artificial.

Para evaluar la motivación, se aplicó un cuestionario tipo Likert de 15 ítems, enfocado en las dimensiones de autonomía, curiosidad, propósito, disfrute y percepción de relevancia del aprendizaje, con respuestas en una escala de 1 (muy en desacuerdo) a 5 (muy de acuerdo). Con el fin de

facilitar el análisis cuantitativo y permitir la comparación con otras métricas del estudio, los puntajes individuales fueron transformados mediante una normalización lineal tipo Min–Max, reescalando los valores a un rango de 0 a 100, preservando la proporcionalidad de las respuestas originales.

El desempeño académico se evaluó a través de una rúbrica técnica estructurada en cinco criterios fundamentales: modelado, codificación, visualización, análisis y validación experimental. Cada criterio fue calificado sobre 100 puntos y ponderado de acuerdo con su relevancia dentro del reto, obteniéndose la calificación final de cada estudiante mediante un promedio ponderado.

Posteriormente, se construyeron modelos de regresión lineal simple para analizar la relación entre el puntaje motivacional y el desempeño académico en ambos grupos. Las representaciones gráficas incluyen la línea de ajuste, su ecuación, el coeficiente de correlación (r) y una banda de confianza estadística al 95%. Los resultados muestran diferencias claras entre los enfoques pedagógicos: el grupo de control presentó una correlación moderada ($r = 0.51$), con una banda de confianza amplia y una dispersión considerable, lo que sugiere una influencia parcial de la motivación en el rendimiento académico [Fig. 2(a)]. En contraste, el grupo experimental alcanzó una correlación alta ($r = 0.79$), con una banda de confianza notablemente más estrecha, evidenciando una relación sólida entre la motivación activada por la creatividad, la colaboración y la narrativa apoyada por inteligencia artificial, y los logros académicos alcanzados [Fig. 2(b)].

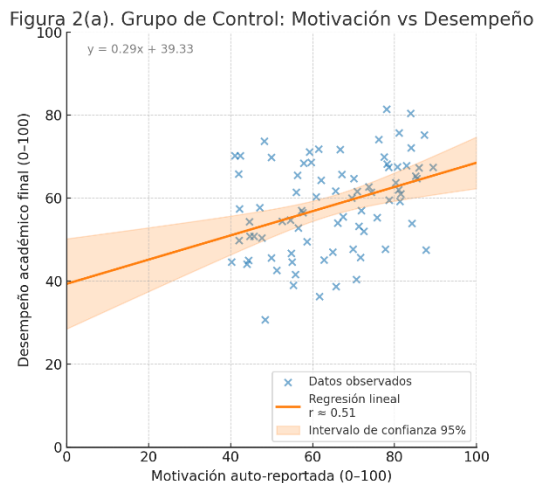


Figura 2(a). Grupo de control: motivación vs. desempeño académico. Gráfico de dispersión que muestra la relación entre la motivación auto-reportada y el desempeño académico, acompañado de la línea de regresión lineal y la banda de confianza al 95%. Se observa una correlación moderada ($r = 0.51$) y una alta dispersión de los datos, lo que sugiere una influencia parcial de la motivación en el rendimiento académico bajo un enfoque pedagógico tradicional.

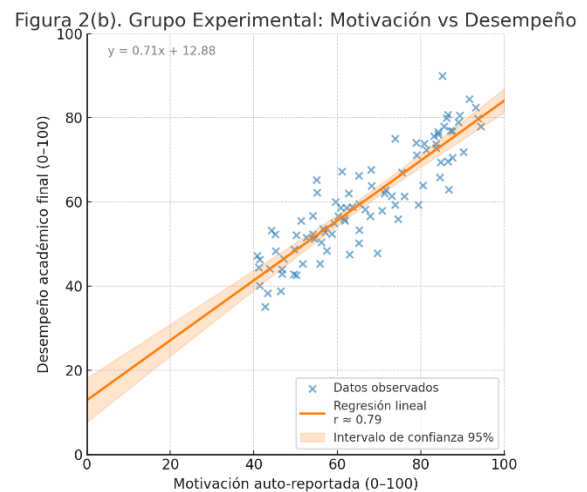


Figura 2(b). Grupo experimental: motivación vs. desempeño académico. Gráfico de dispersión que representa la relación entre la motivación auto-reportada y el desempeño académico, acompañado de la línea de regresión lineal y la banda de confianza al 95%. La correlación alta ($r = 0.79$) y la baja dispersión de los datos evidencian una relación sólida entre la motivación activada mediante narrativas científicas apoyadas por inteligencia artificial y los logros académicos alcanzados.

C. Habilidades blandas que se fortalecen cuando la ciencia se comunica con sentido.

El mapa de calor comparativo [Fig. 3] evidencia de manera clara que el enfoque pedagógico basado en storytelling digital mediado por inteligencia artificial no solo potencia la comprensión técnica, sino que genera efectos medibles en el desarrollo de competencias transversales clave para la formación en ingeniería. En la fila superior del heatmap se observan correlaciones altas en comunicación científica ($r = 0.83$), creatividad ($r = 0.81$) y reflexión ética ($r = 0.77$), lo que sugiere que la mediación narrativa apoyada por IA favorece que los estudiantes no solo dominen conceptos complejos, sino que aprendan a explicarlos con claridad, a innovar con intención y a reflexionar críticamente sobre las implicaciones de su conocimiento en contextos reales.

En la fila intermedia, correspondiente al enfoque de storytelling manual, se identifican correlaciones moderadas pero consistentes ($r = 0.60$ – 0.69). Estos resultados indican que la narrativa, incluso sin apoyo de inteligencia artificial, contribuye al desarrollo de competencias transversales; sin embargo, su alcance y profundidad resultan más limitados en comparación con la narrativa mediada por IA, particularmente en dimensiones asociadas con la creatividad y la reflexión ética.

En contraste, la fila inferior, asociada al enfoque de enseñanza tradicional, presenta correlaciones más bajas ($r = 0.48$ – 0.61), especialmente en las dimensiones de creatividad y ética. Este patrón sugiere que los modelos pedagógicos centrados predominantemente en la transmisión de información técnica tienden a restringir el desarrollo integral del estudiante, al ofrecer menos oportunidades para la expresión, la interpretación crítica y la construcción de significado.

El gradiente cromático del heatmap, donde los tonos más intensos se concentran en el enfoque de IA narrativa, no solo sintetiza resultados cuantitativos, sino que refleja una transformación pedagógica relevante para la educación en ingeniería: cuando la ciencia se comunica de forma estructurada, responsable y apoyada por inteligencia artificial, los estudiantes no solo aprenden contenidos, sino que se involucran, colaboran, crean y construyen significado con mayor profundidad.

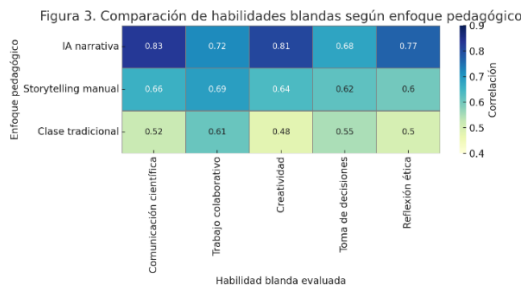


Fig. 3. Comparación de habilidades blandas según el enfoque pedagógico. El enfoque basado en narrativa científica apoyada por inteligencia artificial presenta las correlaciones más altas en comunicación científica, creatividad y reflexión ética, evidenciando un mayor fortalecimiento de competencias transversales en educación STEM.

Fig. (3). Heatmap comparativo de habilidades blandas. Mapa de calor que representa la intensidad de correlación entre tres enfoques pedagógicos: narrativa con inteligencia artificial, storytelling manual y clase tradicional, y el desarrollo de cinco habilidades blandas clave. Los resultados muestran que el enfoque basado en narrativa mediada por inteligencia artificial presenta los valores de correlación más altos en todas las dimensiones evaluadas, con énfasis en comunicación científica, creatividad y reflexión ética. Este patrón sugiere que la mediación tecnológica no solo apoya el aprendizaje técnico, sino que también contribuye al fortalecimiento de competencias transversales fundamentales para la formación integral del estudiante en educación STEM.

D. ¿Aceptamos a la inteligencia artificial en el aula? Percepción tecnológica del alumnado

La aceptación tecnológica constituye un componente crítico para la integración sostenible y ética de herramientas de inteligencia artificial en contextos educativos, particularmente en la formación en ingeniería. Con el fin de analizar el nivel de apertura, confianza y utilidad percibida por el estudiantado frente al uso de inteligencia artificial generativa, se aplicó un instrumento adaptado del Technology Acceptance Model (TAM), utilizando escalas tipo Likert de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo). El instrumento evaluó cuatro dimensiones ampliamente reconocidas en la literatura:

- Percepción de utilidad (PU)
- Facilidad de uso percibida (PEOU)
- Actitud hacia el uso (ATT)
- Intención de uso futuro (BI)

Los resultados obtenidos evidencian una percepción predominantemente favorable por parte del grupo experimental. En particular, las dimensiones de percepción de utilidad ($M = 4.52$) e intención de uso futuro ($M = 4.48$)

alcanzaron los valores promedio más altos, seguidas por una actitud positiva hacia el uso ($M = 4.41$) y la facilidad de uso percibida ($M = 4.32$). Este patrón sugiere que los estudiantes no solo reconocieron el valor pedagógico de la inteligencia artificial aplicada al storytelling científico, sino que también manifestaron una disposición clara a integrarla de manera continua en su proceso de formación profesional.

En contraste, el grupo de control (expuesto únicamente a herramientas y estrategias tradicionales) presentó valores promedio significativamente menores, ubicados entre 3.3 y 3.7, así como una mayor dispersión en las respuestas. Este resultado refuerza la idea de que la aceptación tecnológica no depende exclusivamente de una predisposición individual, sino que puede ser promovida y cultivada pedagógicamente cuando la experiencia de aprendizaje es significativa, funcional y coherente con los objetivos formativos. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de diseñar experiencias educativas con inteligencia artificial que integren valor pedagógico, claridad metodológica y uso responsable, favoreciendo su adopción sostenible en la educación en ingeniería.

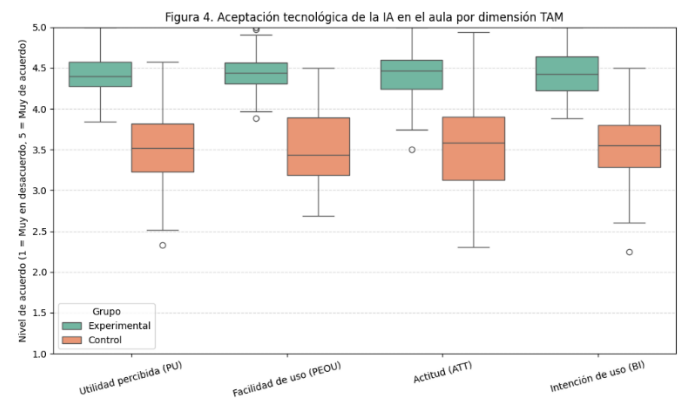


Fig. 4. Boxplot comparativo de aceptación tecnológica de la inteligencia artificial en el aula. Distribución de la aceptación tecnológica medida a través de las cuatro dimensiones del modelo TAM. El grupo experimental, expuesto a inteligencia artificial narrativa, presenta niveles de acuerdo consistentemente más altos y una menor dispersión en todas las dimensiones evaluadas, en comparación con el grupo de control. Este patrón sugiere que una experiencia pedagógica significativa con inteligencia artificial no solo fortalece el aprendizaje, sino que también favorece su aceptación futura como una herramienta educativa confiable y pertinente en la educación en ingeniería.

E. ¿Cuánto se aprende realmente? Evidencia desde la ganancia normalizada y las pruebas inferenciales

En el contexto actual de la educación en ingeniería, la innovación pedagógica no puede sustentarse únicamente en percepciones positivas o altos niveles de entusiasmo estudiantil, sino que debe demostrar efectos medibles, duraderos y estadísticamente verificables en el aprendizaje; resulta indispensable demostrar que las estrategias implementadas conducen a aprendizajes profundos, duraderos y verificables. Con este propósito, se aplicó un instrumento diagnóstico en dos momentos clave del proceso formativo (pretest y postest), enfocado en la evaluación de competencias técnicas fundamentales, tales como el modelado matemático,

la programación en MATLAB, el análisis de resultados y la validación experimental.

El análisis del aprendizaje se estructuró en dos niveles complementarios. En primer lugar, se evaluó el progreso individual de los estudiantes mediante una métrica de ganancia proporcional ajustada al punto de partida. En segundo lugar, se realizaron contrastes estadísticos entre grupos con el fin de identificar diferencias significativas atribuibles al enfoque pedagógico implementado.

1. Ganancia normalizada: aprendizaje ajustado al punto de partida. Para garantizar una evaluación equitativa del progreso académico, se utilizó la ganancia normalizada tipo Hake, una métrica ampliamente empleada en investigación educativa STEM que permite cuantificar cuánto aprendió cada estudiante en relación con el máximo incremento posible a partir de su nivel inicial. A diferencia de los promedios absolutos, esta métrica corrige sesgos asociados a distintos puntos de partida y favorece una interpretación formativa del rendimiento, particularmente útil en estudios comparativos. La ganancia normalizada se calculó utilizando la expresión:

$$\text{Ganancia normalizada} = \frac{\text{Postest} - \text{Pretest}}{100 - \text{Pretest}}$$

Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla II, evidencian una mejora sustancial en el grupo experimental en comparación con el grupo de control. Este hallazgo sugiere que la integración del storytelling digital mediado por inteligencia artificial no solo incrementó el desempeño final, sino que optimizó la eficiencia del aprendizaje, permitiendo a los estudiantes aprovechar en mayor medida su potencial de mejora dentro del reto formativo.

Tabla II. Comparación de resultados entre grupos según la ganancia normalizada

Grupo	Pretest (media)	Postest (media)	Ganancia normalizada
Control	62	75	0.34 (moderada)
Experimental	61	88	0.69 (alta)

Resumen de los puntajes promedio obtenidos en el pretest y el postest para los grupos de control y experimental, junto con su ganancia normalizada (g de Hake). Los resultados muestran que el grupo experimental, que trabajó con narrativa científica apoyada por inteligencia artificial, alcanzó una ganancia normalizada alta ($g = 0.69$), mientras que el grupo de control presentó una ganancia moderada ($g = 0.34$). Este contraste evidencia que la estrategia educativa mediada por inteligencia artificial favoreció una mejora sustancial en el rendimiento académico, ajustada al nivel inicial de los estudiantes y bajo condiciones equivalentes de evaluación.

A pesar de que ambos grupos partieron de niveles de desempeño comparables, el grupo que integró la narrativa científica apoyada por inteligencia artificial alcanzó una ganancia proporcional casi doble en comparación con el grupo de control. Esta diferencia trasciende el valor numérico y sugiere una transformación cualitativa en el proceso de aprendizaje, asociada con una mayor apropiación del conocimiento, un incremento en la autonomía para la resolución de retos ingenieriles y una integración más intencional de las herramientas tecnológicas con un propósito pedagógico claro.

2. Inferencia estadística: confirmando la efectividad de la intervención.

Con el fin de verificar que las diferencias observadas en el rendimiento académico no fueran atribuibles al azar, se llevó a cabo un análisis inferencial utilizando una prueba t de Student para muestras independientes, comparando los puntajes del postest entre el grupo experimental y el grupo de control. Este tipo de prueba resulta especialmente adecuado en estudios de educación en ingeniería cuando se busca evaluar el impacto de una intervención pedagógica sobre el desempeño cuantificable de dos grupos con condiciones iniciales equivalentes.

Los resultados obtenidos fueron estadísticamente concluyentes:

- $t(168) = 4.87$,
- $p < 0.001$

Este resultado indica la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos, con un alto nivel de confianza. En términos pedagógicos, ello sugiere que la mejora observada en el grupo experimental difícilmente puede explicarse por fluctuaciones aleatorias, y se asocia de manera consistente con la intervención educativa basada en el uso de narrativas científicas mediadas por inteligencia artificial.

Para complementar este análisis y estimar la magnitud del efecto observado, se aplicó un ANOVA unifactorial, cuyos resultados fueron los siguientes:

- $F(1,168) = 23.1$,
- $p < 0.001$,
- $\eta^2 = 0.17$

El valor de η^2 (eta cuadrada) corresponde a un tamaño del efecto medio-alto, lo que indica que el tipo de experiencia educativa implementada (en este caso, el diseño de narrativas científicas con apoyo de inteligencia artificial generativa) explica una proporción relevante de la varianza observada en el desempeño académico de los estudiantes.

Cuando estos hallazgos se contrastan con los resultados obtenidos mediante la ganancia normalizada, se configura una doble validación, tanto pedagógica como estadística. En conjunto, la evidencia sugiere que los estudiantes del grupo experimental no solo alcanzaron mayores niveles de aprendizaje, sino que lo hicieron de forma significativa, medible y coherente con la metodología innovadora implementada, fortaleciendo así la solidez empírica de la propuesta educativa presentada.

IV. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian que la integración de narrativas científicas apoyadas por

inteligencia artificial generativa trasciende la innovación metodológica y se consolida como una estrategia pedagógica con efectos medibles en el aprendizaje universitario en contextos STEM. Más allá de transformar la experiencia educativa, esta aproximación incide de manera directa y verificable en el rendimiento académico, la motivación estudiantil y el desarrollo de competencias técnicas y transversales.

Desde una perspectiva cuantitativa, el grupo experimental que participó en el reto formativo mediado por inteligencia artificial alcanzó una ganancia normalizada alta ($g = 0.69$), prácticamente el doble de la obtenida por el grupo de control ($g = 0.34$), aun cuando ambos grupos partieron de niveles iniciales comparables. Las pruebas inferenciales aplicadas (t-test y ANOVA) confirmaron que estas diferencias fueron estadísticamente significativas y asociadas a un tamaño del efecto medio-alto, lo que respalda la solidez empírica de la intervención. Este incremento en el desempeño académico se acompañó, además, de altos niveles de motivación, aceptación tecnológica y apropiación conceptual, reforzando la coherencia entre resultados cognitivos y actitudinales.

Asimismo, los modelos de regresión mostraron que, en el grupo experimental, la motivación se correlacionó fuertemente con el desempeño académico ($r = 0.79$), en contraste con la relación moderada observada en el grupo de control ($r = 0.51$). Este hallazgo sugiere que el diseño de experiencias formativas que integran narrativa, creatividad y tecnología activa la motivación como un mecanismo pedagógico clave, favoreciendo un aprendizaje más profundo, significativo y sostenido.

En conjunto, la evidencia obtenida permite sostener que la inteligencia artificial, cuando se incorpora como aliada pedagógica dentro de enfoques narrativos bien diseñados, no sustituye al docente ni a la creatividad humana, sino que las potencia, amplifica y orienta hacia resultados educativos medibles y relevantes. Este estudio contribuye al desarrollo de modelos educativos que integran tecnologías emergentes con sentido pedagógico y uso responsable, demostrando que el valor de la inteligencia artificial en la educación en

ingeniería no radica en su uso instrumental, sino en su integración crítica para formar profesionales capaces de comprender, comunicar y transformar la realidad desde una perspectiva técnica y humana.

REFERENCIAS

- [1] R. Wu and Z. Yu, "Do AI chatbots improve students' learning outcomes? Evidence from a meta-analysis," *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 10–33, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/bjet.13334>
- [2] A. Al Darayseh and N. Mersin, "Integrating generative AI into STEM education: Insights from science and mathematics teachers," *Int. Electron. J. Math. Educ.*, vol. 20, no. 3, Art. no. em0832, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29333/iejme/16232>
- [3] "Generative AI in STEM Teaching: Opportunities and Tradeoffs," CADRE, Waltham, MA, USA, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://cadrek12.org/sites/default/files/2025-01/edc-CADRE-REPORT-AI-Teaching-2025.pdf>
- [4] V. Liu, E. Latif, and X. Zhai, "Advancing education through tutoring systems: A systematic literature review," *arXiv preprint arXiv:2503.09748*, Mar. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2503.09748>
- [5] G. Pitts, V. Marcus, and S. Motamedi, "Student perspectives on the benefits and risks of AI in education," *arXiv preprint arXiv:2505.02198*, May 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2505.02198>
- [6] M. A. Bircan, İ. Şeref, y O. Nacaroglu, "The effect of STEM-themed story writing training with artificial intelligence tools on the digital literacy and 21st century skills of preservice teachers," *Educ. Inf. Technol.*, May 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13625-2>
- [7] S. Saleem, M. U. Aziz, M. J. Iqbal, y S. Abbas, "AI in Education: Personalized Learning Systems and Their Impact on Student Performance and Engagement," *Crit. Rev. Soc. Sci. Stud.*, vol. 3, no. 1, pp. 2445–2459, 2025. [Online]. Available: <https://thecriss.com/index.php/Journal/article/view/328>
- [8] "AI in Education: The Rise of Intelligent Tutoring Systems," *eLearning Industry*, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://www.parker.edu/blog/ai-in-the-classroom-the-rise-of-intelligent-tutoring-systems>
- [9] S. Suh, "Investigating the Impact of Personalized AI Tutors on Language Learning Performance," *arXiv preprint arXiv:2505.02443*, May 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2505.02443>
- [10] Y. Weng y Y. Zhang, "Assessment of Personalized Learning in Immersive and Intelligent Virtual Classroom on Student Engagement," *arXiv preprint arXiv:2501.07883*, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2501.07883>