



Herramienta digital interactiva basada en mapas de Karnaugh para la mejora del dominio del álgebra booleana en Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico de Tizimín, México

Interactive digital tool based on Karnaugh maps to improve mastery of Boolean algebra in Computer Engineering at Instituto Tecnológico de Tizimín, Mexico

Ferramenta digital interativa baseada em mapas de Karnaugh para melhorar o domínio da álgebra booleana em Engenharia da Computação no Instituto Tecnológico de Tizimín, México

Mariano Matú¹

Instituto Tecnológico de Tizimín, Tizimín - Yucatán, México

 <https://orcid.org/0009-0001-5376-0308>

mariano.matu@ittizimin.edu.mx (correspondencia)

Juan Vivas

Instituto Tecnológico de Tizimín, Tizimín - Yucatán,
México

 <https://orcid.org/0009-0009-2229-9115>

juan.vivas@ittizimin.edu.mx

Lourdes Marfil

Instituto Tecnológico de Tizimín, Tizimín - Yucatán,
México

 <https://orcid.org/0000-0002-6208-9923>

lourdes.marfil@ittizimin.edu.mx

DOI: <https://doi.org/10.35622/j.rie.2026.03.007>

Recibido: 06/04/2026 Aceptado: 07/09/2026 Publicado: 15/09/2026

PALABRAS CLAVE

enseñanza superior,
ingeniería, lógica
matemática, tecnología
de la información.

RESUMEN. En el Instituto Tecnológico de Tizimín se ha observado un bajo aprovechamiento académico en estudiantes que cursan la asignatura Matemáticas Discretas, particularmente en el tema Álgebra de Boole. Durante los semestres agosto-diciembre de 2023 y agosto-diciembre de 2024 se registraron porcentajes de reprobación del 46 % y 53 %, respectivamente. El objetivo de esta investigación fue evaluar la implementación de una herramienta digital interactiva basada en mapas de Karnaugh para mejorar el dominio en la simplificación de expresiones booleanas y reducir el tiempo de resolución en estudiantes de Ingeniería Informática de este Instituto. Su enfoque fue cuantitativo, con alcance descriptivo y diseño preexperimental. La implementación de la herramienta se llevó a cabo mediante la aplicación de los instrumentos de preprueba y posprueba a 28 estudiantes de segundo semestre de Ingeniería Informática quienes cursaron Matemáticas Discretas en el semestre enero-junio 2026. Los resultados descriptivos de la implementación arrojaron una media de 13 puntos y 19.54 puntos en la preprueba y posprueba respectivamente, de un total de 20 puntos, lo que representó un incremento en el nivel de dominio del 65 % al 97.7 % en la simplificación de expresiones booleanas. Respecto a los tiempos de resolución, los promedios fueron de 59 minutos y 27 minutos para la preprueba y posprueba. En conclusión, estos resultados demuestran que la herramienta implementada mejoró el dominio del tema y el tiempo

¹ Doctor en Tecnología Educativa por la Universidad del País Innova, México.



KEYWORDS

engineering, higher education, information technology, mathematical logic.

de resolución, lo cual sugiere que el uso de herramientas digitales puede apoyar el proceso de enseñanza y aprendizaje de contenidos abstractos en ingeniería.

ABSTRACT. Low academic performance has been observed among students taking the Discrete Mathematics course at Instituto Tecnológico de Tizimín, particularly in the topic of Boolean Algebra. During the August–December 2023 and August–December 2024 semesters, failure rates of 46% and 53% were recorded, respectively. The objective of this study was to evaluate the implementation of an interactive digital tool based on Karnaugh maps to improve mastery of Boolean expression simplification and reduce problem-solving time among Computer Engineering students at this Institute. The study followed a quantitative approach, with a descriptive scope and a pre-experimental design. The tool was implemented through the administration of pretest and posttest instruments to 28 second-semester Computer Engineering students enrolled in Discrete Mathematics during the January–June 2026 semester. The descriptive results showed mean scores of 13 points and 19.54 points on the pretest and posttest, respectively, out of a total of 20 points, representing an increase in mastery from 65% to 97.7% in Boolean expression simplification. Regarding problem-solving time, the average values were 59 minutes for the pretest and 27 minutes for the posttest. In conclusion, these results demonstrate that the implemented tool improved mastery of the topic and reduced problem-solving time, suggesting that the use of digital tools can support the teaching and learning process of abstract engineering content.

PALAVRAS-CHAVE

engenharia, ensino superior, lógica matemática, tecnologia da informação.

RESUMO. No Instituto Tecnológico de Tizimín, foi observado baixo aproveitamento acadêmico entre os estudantes que cursam a disciplina de Matemática Discreta, particularmente no tema Álgebra de Boole. Durante os semestres de agosto–dezembro de 2023 e agosto–dezembro de 2024, foram registrados índices de reprovação de 46% e 53%, respectivamente. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a implementação de uma ferramenta digital interativa baseada em mapas de Karnaugh para melhorar o domínio na simplificação de expressões booleanas e reduzir o tempo de resolução entre estudantes de Engenharia da Computação deste Instituto. O estudo adotou uma abordagem quantitativa, com alcance descritivo e delineamento pré-experimental. A implementação da ferramenta foi realizada mediante a aplicação de instrumentos de pré-teste e pós-teste a 28 estudantes do segundo semestre de Engenharia da Computação que cursaram Matemática Discreta no semestre janeiro–junho de 2026. Os resultados descritivos da implementação apresentaram médias de 13 pontos e 19,54 pontos no pré-teste e no pós-teste, respectivamente, de um total de 20 pontos, o que representou um aumento no domínio de 65% para 97,7% na simplificação de expressões booleanas. Quanto ao tempo de resolução, as médias foram de 59 minutos no pré-teste e 27 minutos no pós-teste. Em conclusão, esses resultados demonstram que a ferramenta implementada melhorou o domínio do tema e reduziu o tempo de resolução, o que sugere que o uso de ferramentas digitais pode apoiar o processo de ensino e aprendizagem de conteúdos abstratos em engenharia.

1. INTRODUCCIÓN

La informática es la disciplina que estudia el análisis, desarrollo y aplicación de tecnologías relacionadas con la gestión y el procesamiento de información e incluye áreas como hardware, desarrollo de software, gestión de bases de datos y seguridad en los sistemas informáticos, entre otros. Lo anterior se refuerza con Martínez Guzmán et al. (2024), quienes mencionan que la informática implica el diseño y análisis de algoritmos, redes de computadoras y bases de datos. A nivel superior, su estudio no solo se enfoca en el conocimiento de conceptos y ejercicios abstractos, sino a su aplicación en diferentes contextos para dar solución a problemas cotidianos que implican la aplicación de la ciencia.

La informática tiene como base teórica las matemáticas discretas que, de acuerdo con Acuña Acuña y Salas Castro (2023), “es una rama de las matemáticas que se enfoca en el estudio de objetos y estructuras discretas, como conjuntos finitos, grafos y estructuras algebraicas discretas” (p. 264). Un área fundamental de las matemáticas discretas es el álgebra de Boole, el cual es un sistema lógico que sirvió de base para el sistema



binario y que tiene su aplicación principal en los circuitos lógicos (Mendoza-Perez & Vega-Mateos, 2023). Una extensión gráfica y visual del álgebra de Boole son los mapas de Karnaugh que de acuerdo con lo que menciona Salas-Rueda (2021), facilitan la identificación de la función lógica que reduce la cantidad de componentes electrónicos necesarios en la creación de circuitos digitales.

Por lo anterior, la formación académica en el nivel superior debe propiciar el desarrollo de competencias que incluyan el pensamiento lógico. Al respecto, estudios recientes señalan que el aprendizaje matemático está relacionado con factores pedagógicos, motivacionales y epistemológicos, los cuales influyen en el compromiso del estudiante con sus estudios y con la construcción de su aprendizaje (Cook, 2025; Grundy & Koretsky, 2025; Rensaa & Henriksen, 2025). Además, como mencionan Tsai et al. (2025), la creciente demanda de habilidades de programación resalta la necesidad de equipar a los estudiantes con las competencias necesarias para prosperar en una sociedad digital y lograr de esta manera el éxito tanto académico como profesional.

Como parte de las estrategias pedagógicas que pueden resultar de utilidad, la literatura evidencia que, en la implementación de herramientas digitales, el uso de Tecnologías de la Información (TIC) favorece el aprendizaje significativo y colaborativo, haciendo más atractivo el proceso de aprendizaje (Castro-Palomino & Alanya Coras, 2024; Mujica-Sequera, 2021; Romo-Padilla et al., 2023). En particular, la incorporación de recursos visuales interactivos favorece la comprensión de conceptos matemáticos y el compromiso de los estudiantes (Jin, 2023), debido a que las representaciones visuales reducen la carga cognitiva y mejoran su comprensión (Tsai et al., 2025). Esto permite que estos entornos favorezcan la mediación del aprendizaje del estudiante (Sharma et al., 2024), además de que contribuyen en la generación de experiencias más dinámicas y participativas para abordar contenidos abstractos (Guerrido-Tumbaco et al., 2025; Rizco Celleri et al., 2025), lo que facilita la enseñanza de temas que pueden ser conceptualmente complejos.

En este sentido, la adopción de estas tecnologías a nivel superior implica una transformación en los métodos tradicionales de enseñanza y en las técnicas de los docentes (Lion, 2023), lo que redefine las prácticas pedagógicas y promueve nuevas formas de interacción en el aula (Gumaelius et al., 2024). Por ello, resulta indispensable la intervención del docente como mediador, por lo que el desarrollo de sus competencias puede ser favorecido por modelos como el TPACK, el cual integra el conocimiento disciplinar, pedagógico y tecnológico (Balladares-Burgos & Valverde-Berrocso, 2022). Si bien el uso de estas herramientas promueve la colaboración y el autoaprendizaje, también plantea desafíos como la necesidad de desarrollar habilidades digitales previas en el estudiante y evitar una dependencia excesiva hacia ellas (Tuza Torres, 2024).

En el diseño óptimo de estas herramientas digitales, se deben considerar ciertas características que logren un aprendizaje significativo en el estudiante. La literatura hace referencia a la importancia de desarrollar entornos que incorporen características de usabilidad, funcionalidad, interactividad y accesibilidad. Al respecto, Sangsuwan et al. (2025) y Hertzum (2025) identifican la usabilidad como una dimensión fundamental que se debe considerar en el desarrollo de estos recursos; mientras que Sangsuwan et al. (2025) consideran la visión de un diseño centrado en el usuario para garantizar que la herramienta sea apropiada pedagógicamente, Hertzum (2025) sostiene que la usabilidad efectiva permite gestionar y reducir la carga de trabajo durante la experiencia del usuario.

A nivel internacional, diversos autores aportan evidencias sobre el impacto de las herramientas y recursos interactivos en la enseñanza de contenidos abstractos de ingeniería. Rizco Celleri et al. (2025) demostraron que

la integración de herramientas de visualización y talleres digitales mejora la comprensión de conceptos abstractos de álgebra y geometría. Por su parte, Acuña Acuña y Salas Castro (2023) realizaron una comparación entre la metodología tradicional y la que incorpora tecnología interactiva y encontraron que esta última mejoró de manera significativa el rendimiento académico, así como la motivación y el interés de los estudiantes. A su vez, Hernández Dávila et al. (2023) mencionan que las dificultades en matemáticas en ingeniería están asociadas con deficiencias en las capacidades de abstracción y modelación formal, lo que exige implementar estrategias de enseñanza-aprendizaje que integren el trabajo autónomo del estudiante con la tecnología.

A nivel nacional, los hallazgos evidencian la efectividad de las tecnologías interactivas en la educación superior. Jara Ulloa y Casillas Alcalá (2025) identificaron que la incorporación de dispositivos móviles y recursos digitales favorece la integración y asimilación de contenidos complejos en la asignatura de Cálculo Integral. En esta misma línea, el uso de recursos digitales como simuladores y plataformas virtuales ha demostrado una alta efectividad didáctica, donde el 76.5 % de los estudiantes los percibe como un medio de utilidad para la generación de aprendizaje significativo en el área de circuitos lógicos y sistemas digitales. Esta percepción se tradujo en una mejora en el rendimiento académico, lo cual se pudo evidenciar a partir de la disminución de los índices de reprobación, ya que el 52.94 % de la muestra logró acreditar la asignatura bajo el esquema híbrido implementado. Con esto, el uso de los recursos digitales no solo subsanó la carencia de prácticas de laboratorio, sino que permitió al estudiante construir sus propios conocimientos mediante escenarios prácticos (Barradas-Arenas et al., 2023).

Bajo este escenario, se destaca el uso de Microsoft Excel en las instituciones debido a las automatizaciones que proporciona, así como su eficiencia (Douglas Rebouças et al., 2024). En estudios recientes se reconoce su contribución didáctica en la enseñanza y simplificación lógica de expresiones booleanas, coincidiendo en que su utilización promueve una mejor visualización de las combinaciones lógicas y contribuye a un aprendizaje eficiente en comparación con los métodos exclusivamente algebraicos (Martínez Guzmán et al., 2024; Salas-Rueda, 2021).

El Instituto Tecnológico de Tizimín es una institución pública federal de nivel superior ubicada en el estado de Yucatán, en la cual se imparte la carrera de Ingeniería Informática. La institución cuenta con infraestructura adecuada para la implementación de las TIC, ya que las aulas cuentan con aire acondicionado, cañón proyector e internet y aplica un cuestionario de seguimiento docente correspondiente al Sistema de Gestión de Calidad, para verificar el uso de medios electrónicos y audiovisuales. Sin embargo, un reto que requiere atención es el desarrollo de competencias lógico-matemáticas, particularmente en la asignatura de Matemáticas Discretas. En la unidad 4, “Álgebra de Boole”, se observó que los índices de reprobación en el semestre agosto-diciembre 2023 fueron del 46 %, mientras que para el semestre agosto-diciembre 2024 fue del 53%. Como señalan Acuña Acuña y Salas Castro (2023), una de las dificultades que se relacionan con las matemáticas discretas es la enseñanza de conceptos abstractos y su aplicación en ejemplos concretos. Por ello, resulta necesario el uso de los mapas de Karnaugh, lo cual ha sido poco abordado, representando este vacío la necesidad real que justifica la realización del presente estudio. Ante la situación de que la simplificación de expresiones booleanas mediante teoremas y postulados resulta confusa para los estudiantes, surge el uso de los mapas de Karnaugh como una herramienta visual relevante para la atención de este tema.

Existe un vacío en la literatura respecto al diseño y evaluación de herramientas digitales específicas que integren los mapas de Karnaugh en plataformas accesibles y de uso cotidiano, como Microsoft Excel. El presente proyecto

busca contribuir a la atención de este vacío, por lo que el objetivo del estudio fue evaluar la implementación de una herramienta digital interactiva basada en mapas de Karnaugh para mejorar el dominio en la simplificación de expresiones booleanas y reducir el tiempo de resolución en estudiantes de Ingeniería Informática del Instituto Tecnológico de Tizimín.

2. MÉTODO

El estudio corresponde a un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y con diseño preexperimental de un solo grupo con preprueba y posprueba. Se empleó un diseño preexperimental porque su grado de control es mínimo, ya que como menciona Hernández et al. (2014), éste consiste en aplicar una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental, después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al tratamiento. Esta investigación estuvo basada en un esquema probatorio en donde se pretendió medir una variable mediante instrumentos estandarizados como las prepruebas y pospruebas para asignar valores numéricos al nivel de conocimiento del tema que alcancen los estudiantes. Estas pruebas permitieron la recolección de datos numéricos, los cuales fueron analizados a través de métodos estadísticos descriptivos, buscando objetividad en los hallazgos y la posibilidad de ampliar el estudio a futuro en contextos educativos similares.

Para este estudio se consideraron las variables “Dominio en la simplificación de expresiones booleanas”, la que se ha definido conceptualmente como la capacidad del estudiante para transformar expresiones booleanas en su forma mínima mediante el uso de reglas de álgebra booleana y/o mapas de Karnaugh, identificando agrupaciones correctas y eliminando redundancias. De manera operacional se midió mediante un instrumento de 20 reactivos dicotómicos (0= incorrecto, 1= correcto) donde cada reactivo evalúa la obtención de la expresión mínima equivalente.

La siguiente variable fue “Tiempo de resolución”, que de manera conceptual se define como el tiempo que emplea el estudiante para resolver el conjunto de ejercicios, reflejando la rapidez del procesamiento cognitivo y ejecución de procedimientos en la simplificación de expresiones booleanas. De manera operacional se define como el tiempo total empleado por el estudiante para contestar el instrumento, calculado como la diferencia entre la hora de inicio y finalización. Adicionalmente se estimó el tiempo promedio por reactivo como medida derivada para el análisis.

El contexto de estudio es el Instituto Tecnológico de Tizimín, institución pública federal de nivel superior situado en el estado de Yucatán, México y en el cual se imparten cinco programas educativos de licenciatura e ingeniería. Para este estudio se consideró a la Ingeniería Informática en los periodos escolares agosto-diciembre 2025 y enero-junio 2026, semestres que contaron con 178 y 175 estudiantes inscritos respectivamente, de acuerdo con los datos proporcionados por el Departamento de Servicios Escolares. Para el estudio se empleó muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando criterios de pertinencia y disponibilidad, ya que los tres grupos que formaron parte del estudio desempeñaron funciones específicas durante el proceso. En la primera fase del estudio, se seleccionó un grupo piloto de 11 estudiantes, inscritos en el tercer semestre durante el periodo agosto-diciembre 2025, quienes cumplieron con el criterio de obtener al menos siete puntos en la prueba de selección. Su objetivo fue interactuar con la herramienta para realizar los ajustes necesarios antes de implementar su versión final. Posteriormente, se trabajó con un grupo de 30 estudiantes de sexto semestre, inscritos en el periodo enero-junio 2026, quienes habían cursado previamente la asignatura, con el objetivo de

llevar a cabo la estimación de la confiabilidad del instrumento. Finalmente, para la fase de implementación de la herramienta se trabajó con una muestra de 28 estudiantes, quienes conformaron el grupo de segundo semestre inscritos en el período enero-junio 2026 y que fue seleccionado al ser el único en cursar la asignatura de Matemáticas Discretas durante el período de estudio. Debido a su tamaño reducido, se trabajó con la totalidad de estudiantes para evaluar la herramienta.

A continuación, se describe la caracterización de los instrumentos utilizados:

- a) Prueba de desempeño. Fue el instrumento principal de la investigación y se diseñó con el fin de medir el dominio del estudiante en la simplificación de expresiones booleanas. Esta prueba tuvo dos variantes, según la etapa del estudio. La variante aplicada en la fase piloto estuvo conformada por dos ejercicios. Sus instrucciones fueron establecidas para evaluar la transición del proceso de resolución manual a uno mediado por la tecnología. En su formato de preprueba se solicitó al estudiante dibujar el mapa de Karnaugh, identificar los agrupamientos y escribir la expresión simplificada. En su formato de posprueba, considerando su interacción con la herramienta, se le pidió registrar la expresión proporcionada por el software y redactar una interpretación del resultado. Por otro lado, la variante de la prueba para la fase de implementación consistió en un instrumento compuesto de 20 reactivos de opción múltiple con escala dicotómica, donde el valor 1 representó la respuesta correcta y 0 la incorrecta y con un puntaje máximo de 20 puntos. Para su validación técnica, este instrumento, compuesto inicialmente de 25 reactivos, fue aplicado a un grupo de 30 estudiantes de sexto semestre. Esto permitió estimar su confiabilidad mediante el coeficiente KR-20, pasando de 0.69 a 0.731 con el ajuste a los 20 ítems definitivos. Respecto a la validez de contenido, esta fue garantizada mediante el juicio de expertos, realizado por dos especialistas en ciencias de la computación. En lo que corresponde a la variable asociada, en todas las etapas se registró el tiempo de resolución mediante seguimiento individual con cronómetro.
- b) Lista de cotejo. Para evaluar la interacción del estudiante con la herramienta digital, se utilizó una lista de cotejo, la cual estuvo compuesta por 17 ítems, organizados en las dimensiones de usabilidad, funcionalidad, interactividad, accesibilidad, motivación y aprendizaje significativo. Este instrumento permitió registrar aspectos tales como el comportamiento del estudiante y la respuesta del software mediante la observación directa, realizada por personal que apoyó en el proceso. Esto se realizó marcando la casilla correspondiente de “Sí” o “No” en cada ítem. Es importante mencionar que, aunque el ítem nueve registró el tiempo de resolución para fines de observación, los datos estadísticos oficiales de esta variable se extrajeron de la prueba de desempeño, con el fin de evitar duplicidad en la medición.
- c) Encuesta de percepción. La encuesta de percepción se utilizó para conocer las valoraciones de los estudiantes sobre la herramienta. Las preguntas cerradas permitieron realizar un análisis descriptivo de frecuencias y las preguntas abiertas complementaron el análisis para la adecuación final de la herramienta digital. La encuesta de percepción estuvo conformada por 13 ítems en una escala de Likert de cinco puntos, con las opciones “Totalmente de acuerdo”, “De acuerdo”, “Ni de acuerdo ni en desacuerdo”, “En desacuerdo” y “Completamente en desacuerdo”. Estos reactivos evaluaron la percepción del estudiante en las dimensiones de usabilidad, funcionalidad, interactividad, accesibilidad, motivación y aprendizaje significativo. Adicionalmente, se incluyeron dos preguntas abiertas; la primera tuvo como objetivo identificar los aspectos técnicos más útiles o atractivos desde la perspectiva del estudiante, mientras que la segunda se orientó a recabar sugerencias de mejora para la adecuación

final de la herramienta digital. Este instrumento fue de elaboración propia y su validez de contenido se garantizó mediante el juicio de expertos realizado por dos especialistas en informática y sistemas computacionales. Respecto a su confiabilidad, el cálculo del coeficiente Alfa de Cronbach dio como resultado 0.903, valor que confirma una consistencia interna muy alta de la información obtenida para los fines de este estudio.

A continuación, se describen las etapas relevantes de la presente investigación:

1. Etapa de desarrollo de la herramienta digital. En esta etapa se tuvo como propósito el desarrollo de una primera versión funcional de la herramienta digital en Excel, para ello se consideró que la herramienta permitiera introducir los valores en una tabla de verdad, construyera el mapa de Karnaugh y simplificara la expresión, considerando las siguientes funciones: a) la entrada de datos y la construcción dinámica del mapa de Karnaugh con retroalimentación inmediata; b) la generación de la expresión booleana extendida; y c) la optimización de la expresión booleana simplificada de forma automática. Se verificó que la herramienta cumpliera con las características de funcionalidad, usabilidad, accesibilidad e interactividad.
2. Etapa de pruebas piloto de la herramienta digital. La fase piloto se llevó a cabo con 11 estudiantes de tercer semestre, quienes fueron seleccionados a partir de la aplicación de una prueba de conocimiento en la que obtuvieron una calificación de al menos siete puntos sobre 10 posibles. Esta etapa inició con una sesión de repaso con duración aproximada de 30 minutos, dirigida a homogeneizar el nivel de dominio conceptual de los estudiantes seleccionados. Durante esta sesión se reforzaron los principios fundamentales del álgebra de Boole y el uso de mapas de Karnaugh, asegurando que todos los participantes comprendieran las bases teóricas antes de interactuar con la herramienta digital. Una vez finalizada esta sesión, se aplicó el instrumento de preprueba y posteriormente se procedió a la explicación de la herramienta digital y la aplicación de la posprueba. Durante este proceso, se aplicó la lista de cotejo para observar la interacción de los estudiantes con la herramienta digital, en la que identificaron las entradas de la tabla de verdad para observar el reflejo automático en el mapa de Karnaugh. Al finalizar la posprueba, el estudiante contestó la encuesta de percepción.
3. Etapa de validación técnica y confiabilidad del instrumento. Con base en la información obtenida de la lista de cotejo y la encuesta de percepción aplicada en la fase piloto, se procedió a una revisión técnica, en la que se realizaron ajustes en la programación de la herramienta en Excel para garantizar la compatibilidad de las fórmulas en dispositivos móviles y asegurar el resultado correcto de las expresiones. Posteriormente, se procedió a la elaboración y validación de contenido de la variante de la prueba de desempeño que se aplicaría en la fase de implementación de la herramienta. La validez de contenido se realizó mediante el juicio de dos expertos en informática y sistemas computacionales. Respecto a la confiabilidad, se aplicó la versión inicial de la prueba de desempeño compuesta de 25 reactivos a un grupo de 30 estudiantes de sexto semestre que ya contaban con conocimientos previos del tema. Las respuestas de los estudiantes fueron utilizadas para calcular el coeficiente KR-20 de Kuder-Richardson, lo que permitió identificar ítems con baja discriminación y realizar el ajuste final a los 20 reactivos definitivos, alcanzando un nivel de consistencia interna de 0.731.
4. Etapa de implementación de la herramienta digital. La fase final de la investigación se llevó a cabo en el semestre enero-junio 2026 con una muestra de 28 estudiantes que cursan el segundo semestre de la Ingeniería Informática. El proceso consistió en explicar los temas de la unidad 4 de la asignatura

Matemáticas Discretas, lo cual se inició el 13 de abril de 2026 y se atendieron los temas correspondientes a los teoremas y postulados y optimización de expresiones booleanas. Una vez revisados estos temas, se explicaron y resolvieron ejemplos y se procedió a aplicar la preprueba, lo cual se realizó el 20 de abril. Posteriormente, el 22 de abril, en una sesión de 50 minutos, se presentó la herramienta digital, se explicó su uso y los estudiantes accedieron a ella a través de sus dispositivos móviles o laptops, para verificar su funcionamiento y realizar ejemplos. Una vez que los estudiantes conocieron la herramienta e interactuaron con ella, se aplicó el instrumento de la posprueba el 24 de abril y posteriormente se aplicó la encuesta de percepción. Durante esta fase se midieron las variables dominio en la simplificación de expresiones booleanas y el tiempo de resolución de los ejercicios.

Para el procesamiento y análisis de la información recogida se recurrió exclusivamente a la estadística descriptiva, ya que el alcance del estudio es de carácter descriptivo y presenta un diseño preexperimental. Los datos cuantitativos fueron tabulados y analizados mediante Excel, que permitió calcular frecuencias y porcentajes, así como medidas de tendencia central y de dispersión. Los aspectos éticos que se consideraron en esta investigación fueron la confidencialidad, el anonimato, el consentimiento informado y el uso de la información exclusivamente con fines científicos.

3. RESULTADOS

A continuación, se describen los hallazgos principales, obtenidos a partir de la aplicación de los instrumentos en las etapas de pruebas piloto y de implementación de la herramienta.

Etapas de pruebas piloto de la herramienta digital.

La Tabla 1 reúne información de la preprueba y la posprueba en la etapa de pruebas piloto. En estos resultados se observa un desempeño favorable de los estudiantes al interactuar con la herramienta digital, ya que el 90.9% alcanzó la calificación máxima en la posprueba, mientras que en la preprueba fue del 54.5%. Además, los casos de los estudiantes E3, E4 y E7 mostraron una mejora en el tiempo de resolución, ya que este disminuyó a menos de la mitad en la posprueba. También se pudo observar una reducción en el tiempo promedio de resolución, al pasar a 10 minutos en la preprueba a menos de 6 minutos en la posprueba. Como dato complementario de esta fase, se observó el interés y la curiosidad de los estudiantes por utilizar la herramienta digital, debido a la novedad en la que ésta realizó la retroalimentación y presentó la expresión simplificada. Estos resultados sugieren que hubo un avance en el dominio de la simplificación de funciones mediante el uso de la herramienta digital, lo que se puede atribuir a la retroalimentación inmediata de la herramienta, sin que esto sea considerado como una mejora estadísticamente significativa, ya que el análisis se limita al grupo de 11 estudiantes considerados en esta fase.

Tabla 1

Resultados de la preprueba y posprueba en la fase piloto

Estudiante	Calificación		Tiempo de resolución (en minutos)	
	Preprueba	Posprueba	Preprueba	Posprueba
E1	10	10	13	9

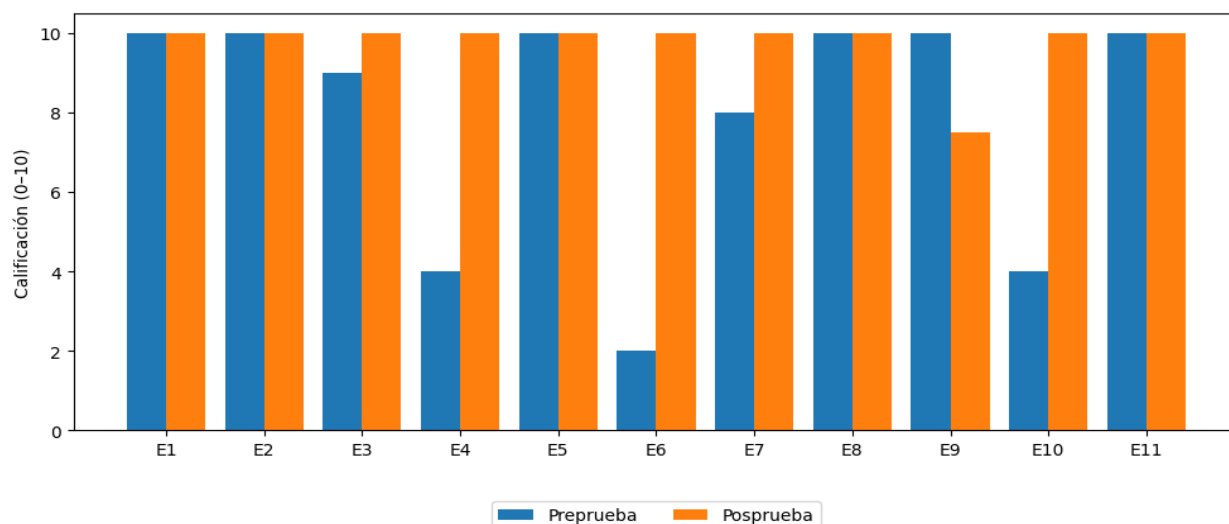


E2	10	10	7	2
E3	9	10	12	5
E4	4	10	15	3
E5	10	10	8	9
E6	2	10	14	10
E7	8	10	15	5
E8	10	10	6	3
E9	10	7.5	7	5
E10	4	10	9	7
E11	10	10	5	4

La Figura 1 presenta una comparación de las puntuaciones de cada estudiante en la preprueba y posprueba, durante la fase piloto. Se puede observar que en cinco de los 11 casos los estudiantes mejoraron la puntuación obtenida en la preprueba. Si bien es notorio que en cinco casos la calificación fue la misma en ambas pruebas (diez puntos) se debe considerar que la posprueba fue realizada en menos tiempo. En solo un caso, la calificación de un estudiante fue menor en la posprueba con respecto a la preprueba.

Figura 1

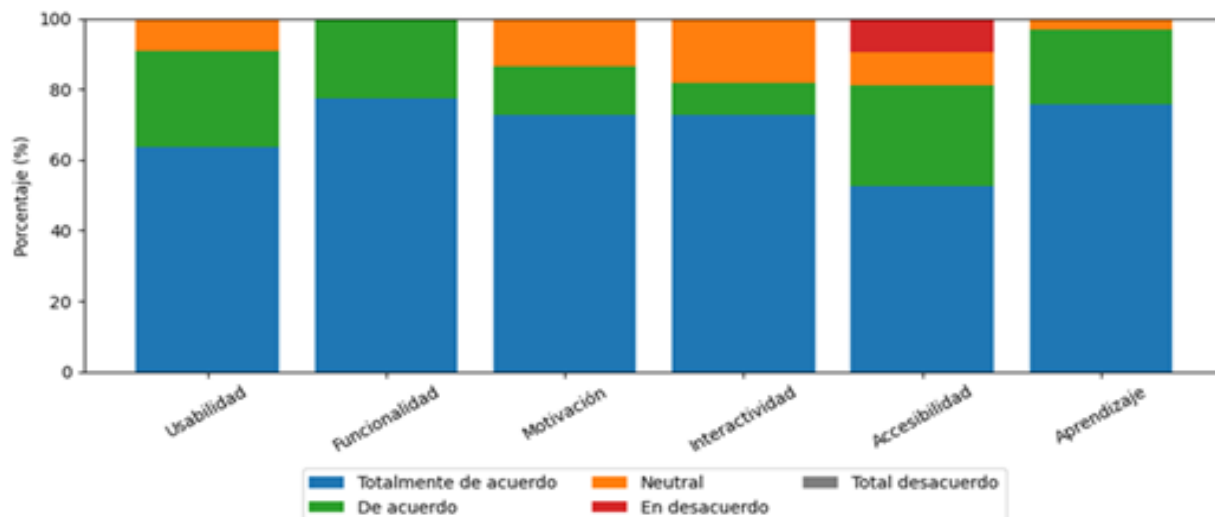
Comparación de calificaciones de la preprueba y posprueba en fase piloto



En la Figura 2 se presenta la distribución porcentual de respuestas por dimensión. Para la construcción de esta gráfica se consideró el porcentaje de respuestas para cada opción de la escala de Likert, contemplando el total de 11 estudiantes que contestaron la encuesta. Se puede observar que en cada una de las seis dimensiones se obtuvo al menos 77% de respuestas “Totalmente de acuerdo” y “de acuerdo”, lo que evidencia una valoración positiva de la herramienta.

Figura 2

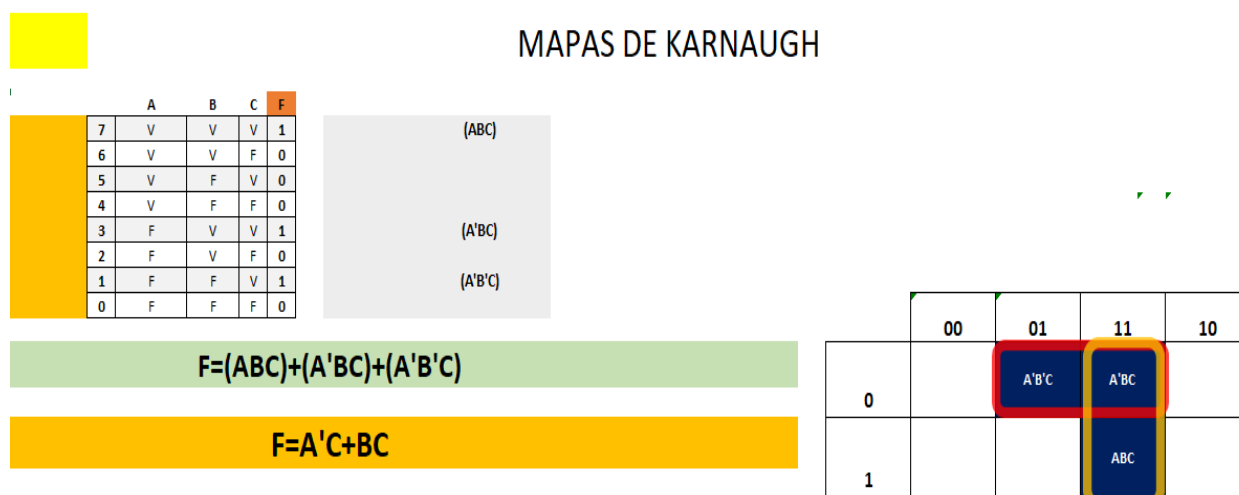
Distribución porcentual de la encuesta de opinión en la fase piloto.



Con base en los resultados de la fase piloto, se realizaron los ajustes a la herramienta digital, de forma que muestre la información de una manera clara para el estudiante, al tiempo que conforme éste interactúa con ella, pueda observar los resultados de las expresiones que ha ingresado. De esta manera, en la Figura 3 se visualiza la pantalla de la herramienta digital donde se observa la tabla de verdad, la expresión extendida y simplificada de la función booleana, así como el mapa de Karnaugh generado.

Figura 3

Vista de la interfaz de la herramienta digital.



Una vez que se hicieron las adecuaciones a la herramienta digital, se procedió al diseño del instrumento de evaluación, el cual fue aplicado durante la fase de implementación de la herramienta.

Etapas de validación técnica y confiabilidad del instrumento.

En esta etapa se determinó la consistencia interna de la variante de la prueba de desempeño que fue utilizada en la fase de implementación de la herramienta digital y cuyos criterios de diseño se han descrito en el apartado de metodología. Esto fue definido a partir del cálculo del coeficiente KR-20, con lo cual se obtuvo un valor de 0.731, lo cual representa un nivel de confiabilidad aceptable para su aplicación. De esta manera, el instrumento que se aplicó en la siguiente fase estuvo compuesto de 20 reactivos.

Etapas de implementación de la herramienta digital.

Una vez concluida la fase de implementación, se procedió a concentrar los datos obtenidos a partir de los instrumentos aplicados. A continuación, se resumen los resultados.

La Tabla 3 muestra los resultados de la preprueba y posprueba en la fase de implementación de la herramienta digital. En la preprueba la calificación promedio fue de 13 puntos de un total de 20, mientras que el rango de calificaciones varió desde un mínimo de 0 puntos, hasta un máximo de 20 puntos, lo cual arrojó una desviación estándar de 6.64 puntos. Por otro lado, la calificación promedio de la posprueba fue de 19.54 puntos, con una calificación mínima de 16 y una máxima de 20 puntos y una desviación estándar de 0.88. Con esto se observa que mientras en la preprueba hubo una dispersión alta de las calificaciones, en la posprueba se presentaron datos homogéneos y por consiguiente mayor consistencia.

Tabla 3

Análisis descriptivo de las calificaciones de la preprueba y posprueba

Indicador	Preprueba	Posprueba
Promedio	13	19.54
Mínimo	0	16
Máximo	20	20
Desviación estándar	6.64	0.88

En cuanto al tiempo de resolución de las pruebas, en la Tabla 4 se puede observar una diferencia importante entre los tiempos que requirieron los estudiantes para contestar la preprueba y la posprueba. Aunque la posprueba fue contestada en menor tiempo, se presentaron diferencias en la rapidez para la resolución de los ejercicios, ya que se observa que la desviación estándar fue de 5.29 minutos, superior a los 2.69 minutos obtenidos en la preprueba.

Tabla 4

Análisis descriptivo del tiempo de resolución de la preprueba y posprueba

Indicador	Preprueba	Posprueba
Promedio	59 min	27 min
Mínimo	52 min	20 min

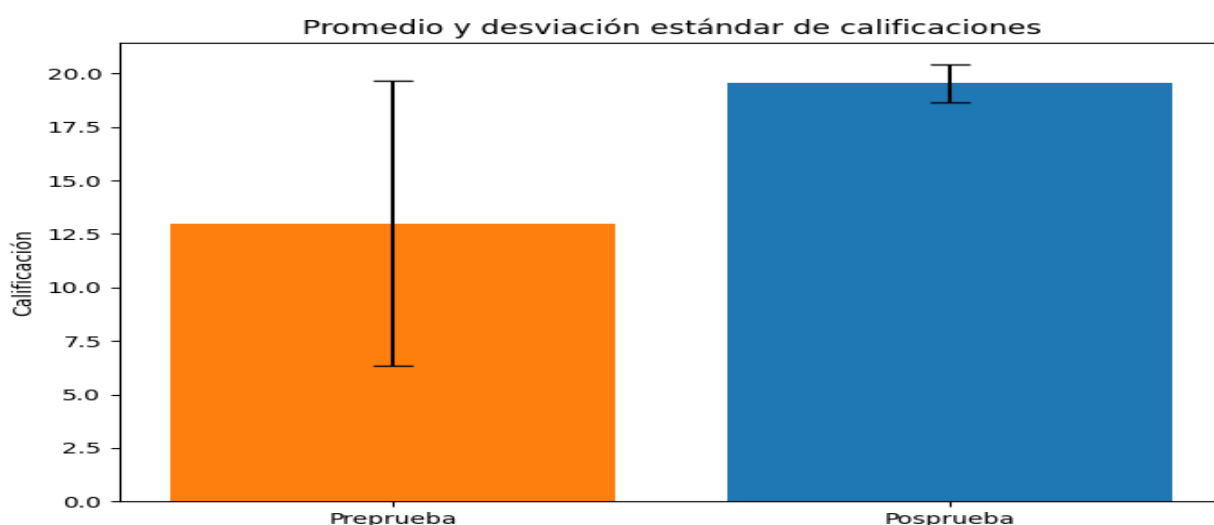


Máximo	1 hora 6 min	40 min
Desviación estándar	2.69 min	5.29 min

La Figura 4 muestra el promedio y la desviación estándar de las calificaciones de la preprueba y la posprueba aplicadas durante la fase de implementación de la herramienta. Con esto se observa que hubo una mayor dispersión de las calificaciones en la preprueba, mientras que en la posprueba se obtuvieron calificaciones más homogéneas.

Figura 4

Promedio y desviación estándar de las calificaciones de la preprueba y posprueba.



La Tabla 5 muestra el valor promedio de la encuesta de percepción estudiantil por dimensión en la fase de implementación de la herramienta. Estos valores se calcularon al hacer la conversión de la respuesta del estudiante en escala de Likert, donde se asignó el valor 1 (más bajo) a la opción completamente en desacuerdo y el valor 5 (más alto) a la opción totalmente de acuerdo. Se observa que, en promedio, los resultados de la encuesta de percepción se situaron sobre los cuatro puntos, en una escala de uno a cinco, lo que sugiere que los estudiantes perciben la herramienta digital como un recurso relevante para su proceso de aprendizaje. Al lograr que todas las dimensiones estén sobre los cuatro puntos, se considera que se alcanzó un equilibrio en el diseño de esta herramienta, al lograr la visualización del álgebra de Boole en una interfaz práctica para el estudiante.

Tabla 5

Promedio de puntos por dimensión en la fase de implementación de la herramienta digital.

Dimensión	Valor promedio obtenido
Usabilidad	4.41
Funcionalidad	4.68
Interactividad	4.59
Accesibilidad	4.46

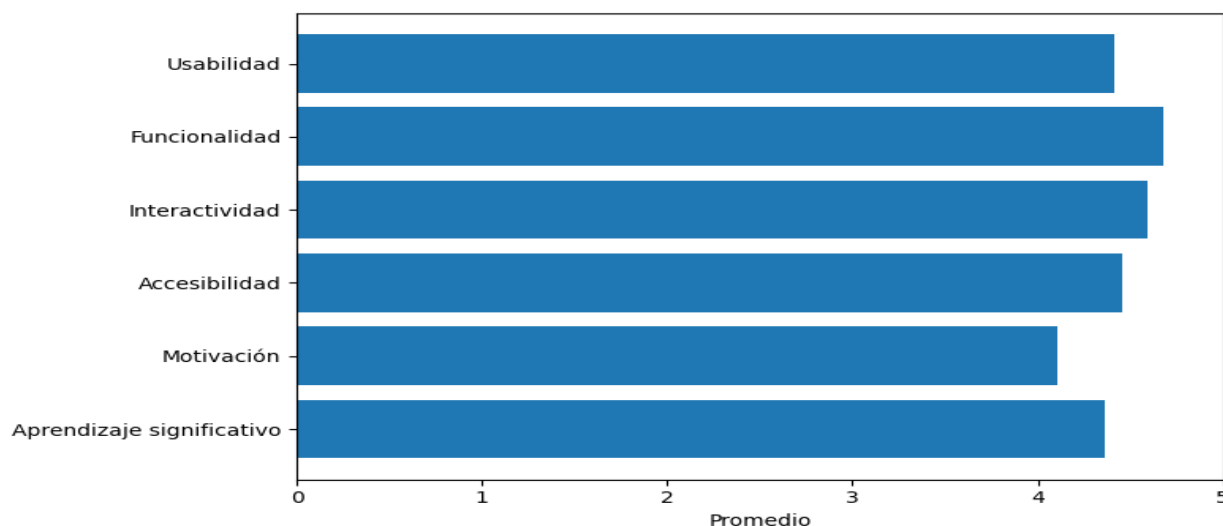
Motivación	4.11
Aprendizaje significativo	4.36

La Figura 5 complementa la información anterior, donde se destaca que la dimensión que obtuvo mayor puntaje en la fase de implementación de la herramienta digital es “funcionalidad”, con 4.68 puntos. Al respecto, los ítems de esta dimensión se refieren al hecho de que la herramienta genera la simplificación correcta de las expresiones introducidas y la representación gráfica del mapa de Karnaugh facilita la identificación de la solución. Esta valoración cuantitativa coincide con las percepciones cualitativas de los estudiantes, quienes calificaron la herramienta como un recurso que permite una “fácil visualización y percepción” para manejar la información y destacaron como un aspecto atractivo el hecho de que “muestra cómo se va simplificando la expresión en tiempo real”. Estos testimonios confirman que su diseño logra reducir la carga cognitiva en procesos repetitivos, permitiendo que el estudiante se enfoque en la interpretación de los resultados.

Por otro lado, la dimensión motivación se centró en conocer si la herramienta aumentó el interés del estudiante por aprender álgebra de Boole y si éste prefiere realizar ejercicios con la herramienta en vez de realizarlos de forma manual. Esta dimensión fue evaluada con el promedio más bajo, el cual fue de 4.11 puntos. En este sentido, se debe considerar que la herramienta atiende un tema de ingeniería con un nivel de abstracción elevado y la utilidad técnica de la herramienta no está orientada al entretenimiento o la gamificación, sino en la fiabilidad del resultado.

Figura 5

Puntuación de las dimensiones de la herramienta digital en la fase de implementación.



Con estos resultados cuantitativos y de percepción a partir de la encuesta de opinión, se considera que la herramienta digital es óptima para lo cual fue diseñada y su versión actual garantiza un entorno favorable para el estudio del álgebra de Boole.

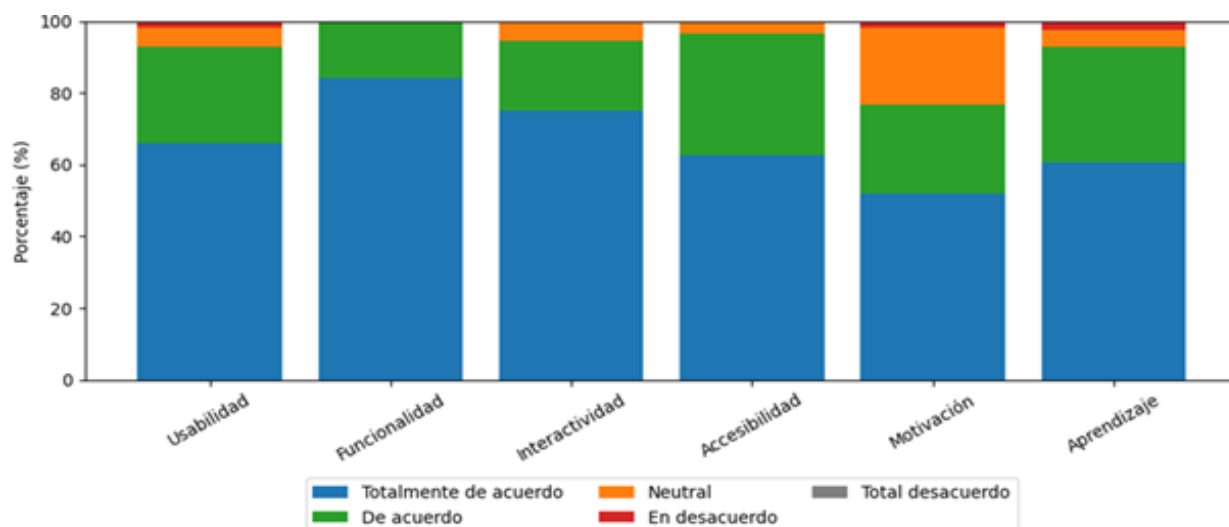
En la Figura 6 se presenta la distribución porcentual de respuestas por dimensión, correspondiente a la etapa de implementación de la herramienta. Se puede observar que la dimensión con más respuestas positivas (“Totalmente de acuerdo” o “de acuerdo”) fue la funcionalidad de la herramienta (96.43%), mientras que la que

obtuvo menor cantidad de respuestas positivas (73.21%) fue la motivación que generó en el estudiante el uso de la herramienta digital.



Figura 6

Distribución porcentual de la encuesta de opinión en la fase de implementación.



4. DISCUSIÓN

La información obtenida a partir de la aplicación de la preprueba y la posprueba en la fase de implementación de la herramienta (Tablas 3 y 4) permitió identificar cambios relevantes en el desempeño de los estudiantes en la simplificación de expresiones booleanas mediante mapas de Karnaugh. En la Tabla 3 se observaron las diferencias en la preprueba respecto al nivel de dominio de los conceptos, evidenciadas en la variabilidad de las calificaciones, donde se obtuvo un promedio de 13 puntos y una desviación estándar de 6.64. En este caso, algunos estudiantes presentaron dificultades en la identificación de agrupamientos y en la obtención de la expresión simplificada, registrándose calificaciones con desempeños bajos en comparación con otros que alcanzaron resultados altos desde el inicio.

Posteriormente, tras la interacción con la herramienta digital, los resultados de la posprueba mostrados en la Tabla 3 presentaron una mejora generalizada en el desempeño de los participantes, donde se obtuvo un promedio de 19.54 puntos y una desviación estándar de solo 0.88, alcanzando en la mayoría de los casos la calificación máxima. Este comportamiento se observó en prácticamente todos los estudiantes, incluyendo aquellos que presentaban dificultades en la preprueba, lo que sugiere que la herramienta facilitó la comprensión del procedimiento de simplificación y permitió identificar con mayor claridad las relaciones entre las combinaciones del mapa de Karnaugh y la expresión booleana resultante.

Con lo anterior, se pudo comprobar lo que mencionan García Carreño et al. (2025) y Hare et al. (2024), respecto a que la visualización permite una mejor comprensión de conceptos abstractos, ya que, en conjunto con las herramientas digitales, favorece una interacción dinámica con los contenidos y facilita la comprensión de las estructuras involucradas al integrar el pensamiento simbólico con representaciones visuales, que fue lo que se logró con los estudiantes al facilitarles la herramienta digital.

En este sentido, la información registrada refuerza estos hallazgos, tal como se observa en las Tablas 4 y 5, ya que en los 28 casos evaluados los estudiantes fueron capaces de interpretar la solución generada por la herramienta, así como de relacionarla con conocimientos previos.

Lo anterior coincide con lo señalado por Mejía-Aguilar et al. (2023), quienes destacan la importancia de fortalecer estrategias didácticas orientadas a la comprensión conceptual en la enseñanza de las matemáticas en ingeniería. Asimismo, estos resultados pueden interpretarse a partir de los principios del aprendizaje multimedia, los cuales favorecen la construcción del conocimiento cuando se reduce la carga cognitiva y se organizan adecuadamente los contenidos (Betancur-Chicué & García-Valcárcel Muñoz-Repiso, 2023).

Además de la mejora en los resultados en la posprueba, se observó también una reducción en el tiempo requerido para resolver los ejercicios (Tabla 4), el cual disminuyó de un promedio de 59 minutos en la preprueba a 27 minutos en la posprueba, lo que indica una mejora en el proceso de resolución de más del 50%. Esto corresponde con lo que se menciona en Mujica-Sequera (2021), en el sentido de que el aprendizaje mediado por la tecnología es un método o enfoque que facilita el aprendizaje y ayuda al estudiante a obtener información de forma rápida y fácil.

Por otra parte, los resultados de la encuesta de percepción en la fase de implementación presentados en la Tabla 5 coinciden con lo observado en el desempeño de los estudiantes, ya que la mayoría manifestó que el uso de la herramienta contribuyó a una mejor comprensión de los procesos de simplificación y a una mayor seguridad al enfrentar este tipo de problemas, lo cual se puede corroborar al observar que, en promedio, cada dimensión fue evaluada con un valor superior a los cuatro puntos de un total de cinco. Este resultado concuerda con lo planteado por García Carreño et al. (2025), quien señala que las estrategias visuales y tecnológicas mejoran significativamente la comprensión de estructuras algebraicas complejas.

La herramienta utilizada representó un cambio en los procesos de enseñanza ya que es común que el estudiante resuelva los ejercicios de forma manual y es allí donde se presentaba dificultad para visualizar los avances, además de que requería retroalimentación del profesor, cuando un proceso no fue comprendido. Con esta herramienta el estudiante obtuvo retroalimentación inmediata y pudo interactuar de tal forma que visualizó el proceso de simplificación, observando los cambios cuando le asigna un determinado valor a la expresión que pretendía simplificar, tal como se muestra en la vista de la herramienta, presentada en la Figura 3.

De igual forma, la retroalimentación inmediata que ofreció la herramienta redujo la intervención del docente al momento de ajustes o correcciones a los procedimientos realizados por el estudiante, centrándose en procesos más complejos que pudieran estar asociados a la aplicación de estos temas en la ingeniería.

Además, en la encuesta de percepción, los estudiantes respondieron que consideran positivo cómo la herramienta ayudó a relacionar conceptos previos con la solución obtenida, además de que les ayudó a comprender mejor cómo se simplifican los circuitos digitales, lo que implica el alcance en el aprendizaje significativo. De esta manera, se verifica lo que obtuvo Barradas-Arenas et al. (2023) en su estudio, donde los estudiantes consideran que los recursos digitales son un medio efectivo para la generación de aprendizaje significativo.

Por otra parte, se analizaron las dimensiones de la herramienta digital. La funcionalidad de esta herramienta se estudió a partir de los registros obtenidos en la lista de cotejo y de las percepciones expresadas por los estudiantes en la encuesta en ambas fases y cuyos resultados se muestran en las Figuras 2 y 6. Estos hallazgos muestran que la herramienta cumple adecuadamente con los propósitos para los cuales fue diseñada, particularmente en lo relacionado con la simplificación de expresiones booleanas y la generación de



representaciones gráficas mediante mapas de Karnaugh. De igual manera, se valoró positivamente la respuesta inmediata del sistema, lo que contribuye a una interacción más dinámica con los contenidos.

Adicionalmente, refuerzan la relación entre la funcionalidad de la herramienta digital y su diseño centrado en el usuario, ya que hay una correspondencia entre las acciones del estudiante y las respuestas de la herramienta. En este sentido, Karrenbauer et al. (2023) señalan que la definición de funciones claras y alineadas con las necesidades del usuario permite que estos recursos tecnológicos respondan de manera adecuada a los procesos de aprendizaje. Asimismo, Dai et al. (2023) destacan que la incorporación de mecanismos de respuesta y soporte dentro de los entornos digitales favorece la interacción del estudiante con el contenido y la comprensión de los resultados generados.

En cuanto a la usabilidad, en términos generales, los resultados presentados en las Figuras 2 y 6 indican que la herramienta presenta un nivel adecuado de facilidad de uso, lo que permitió a los estudiantes interactuar con la interfaz de forma intuitiva y sin requerir apoyo constante en la resolución de los ejercicios.

Asimismo, los resultados de la accesibilidad indican que la herramienta puede ser utilizada sin requerir instalaciones complejas ni configuraciones avanzadas, lo que facilita su implementación en el contexto educativo. Durante la fase de pruebas piloto, se identificaron tres casos específicos en los que se presentaron dificultades relacionadas con la compatibilidad en dispositivos móviles o con ciertas configuraciones del software, lo que provocó fallas iniciales en la ejecución o en el reconocimiento de fórmulas, las cuales fueron resueltas durante el desarrollo de esta misma fase y para la etapa de implementación de la herramienta no se presentaron estos inconvenientes.

La interactividad de la herramienta, como se observa en la Figura 3, permitió a los estudiantes modificar las entradas y observar de manera inmediata los cambios en la representación del mapa de Karnaugh y en la expresión simplificada. Esto brindó la posibilidad de manipular variables y observar resultados en tiempo real, lo cual favorece la exploración y la construcción del conocimiento. En este sentido, Wolf et al. (2025) señalan que la interacción efectiva en entornos digitales permite reducir la carga cognitiva y facilita la comprensión de los contenidos al establecer una relación directa entre las acciones del usuario y las respuestas del sistema.

De manera complementaria, estos resultados coinciden con lo planteado por Rodríguez Rincón et al. (2025), quienes señalan que los entornos interactivos que incorporan retroalimentación inmediata favorecen la construcción del conocimiento al guiar al estudiante en la resolución de tareas. Asimismo, de Barba et al. (2025) destacan que la interacción constante con los recursos digitales ayuda a identificar patrones de comportamiento asociados al aprendizaje, lo que contribuye a una mayor comprensión de los contenidos. En esta misma línea, Sharma et al. (2024) señalan que la interacción en entornos digitales favorece procesos de autorregulación, lo que fortalece el aprendizaje significativo.

La motivación de los estudiantes durante el uso de la herramienta digital se analizó a partir del interés en la utilización de la herramienta y su disposición para explorar sus funciones. Asimismo, se identificó que los participantes interactuaron de manera constante con el recurso, lo que sugiere un nivel adecuado de involucramiento en el proceso de aprendizaje. Los resultados de la encuesta de percepción refuerzan estos hallazgos, ya que la mayoría de los estudiantes manifestó estar de acuerdo en aprender este tema a través de la herramienta, así como la preferencia de su uso respecto a resolver ejercicios manuales, resultados que se identifican en las figuras 2 y 6.

Estos resultados pueden interpretarse a partir del papel de las tecnologías digitales en la motivación del estudiante, ya que su integración en el proceso educativo favorece entornos de aprendizaje más dinámicos y participativos. En este sentido, Jara Ulloa y Casillas Alcalá (2025) señalan que el uso de recursos digitales en educación superior contribuye a mejorar el rendimiento académico y favorece la asimilación de contenidos complejos. Asimismo, Seclén Medina et al. (2025) destacan que los entornos híbridos y las metodologías activas promueven la participación del estudiante y fortalecen su autonomía en el proceso de aprendizaje. De manera complementaria, González Torres et al. (2024) señalan que el desarrollo de competencias digitales influye en la forma en que los estudiantes interactúan con las herramientas tecnológicas, favoreciendo su participación en el aprendizaje.

Se debe considerar que el uso de herramientas digitales con una intención pedagógica clara requiere de una integración adecuada entre los contenidos, la enseñanza y la tecnología, ya que en su conjunto contribuyen al aprendizaje y en el caso de la educación superior, este debe orientarse al desarrollo de capacidades que den respuesta a las demandas profesionales (Dart et al., 2023; Khaerunnisa et al., 2025; Valbuena Duarte et al., 2024).

Después del análisis realizado, en el que se identificaron fortalezas y oportunidades de mejora, se concluye que las herramientas digitales pueden fungir como facilitadores sólidos en el proceso de enseñanza-aprendizaje de temas abstractos. La coincidencia entre los resultados alcanzados y lo expuesto por autores como García Carreño et al. (2025), Acuña Acuña y Salas Castro (2023) y Clark et al. (2023) permite afirmar que la integración de la tecnología es un componente fundamental del proceso educativo y su aplicación adecuada en este caso se basó en el hecho de que permita la visualización de temas abstractos y la retroalimentación inmediata. Con esto se concluye que la herramienta digital desarrollada en Excel cumple con los requisitos necesarios para los procesos educativos mediados por la tecnología.

Los hallazgos favorables de este estudio están limitados por el tamaño reducido de la muestra y su desarrollo en un contexto institucional específico, por lo que los resultados no pueden generalizarse de manera directa a otros entornos educativos. Asimismo, se debe considerar la ausencia de un grupo de control, el uso de un muestreo no probabilístico por conveniencia y la utilización exclusiva de estadística descriptiva. Además, el análisis se enfocó en la interacción con una herramienta particular donde la motivación obtuvo la valoración relativa más baja, lo que identifica un posible cambio hacia un entorno digital más atractivo, considerando el rediseño del software bajo principios de gamificación y entornos interactivos más dinámicos. En este sentido, la atención futura de esta propuesta debe evolucionar hacia estudios longitudinales, así como de réplica en diversos contextos e instituciones que permitan validar la efectividad del recurso en otras poblaciones.

Como parte de los aportes de este proyecto, se considera que constituye una propuesta pedagógica que puede fortalecer la formación inicial del estudiante de Ingeniería Informática, ya que es en los primeros semestres donde se presenta mayor rezago académico y deserción. Con su implementación se busca reducir estas situaciones académicas para fortalecer la permanencia escolar. Si bien este estudio no estuvo enfocado en medir la comprensión del tema, los resultados de las pruebas de desempeño sugieren que la integración de recursos digitales favorece la asimilación de contenidos complejos, lo cual es un factor clave en el proceso educativo, tal como mencionan Jara Ulloa y Casillas Alcalá (2025). Con esto, la implementación de esta herramienta puede contribuir a mejorar la calidad de la enseñanza de este tema de la asignatura, brindando a los docentes una herramienta de apoyo y fomentando además la generación de nuevos proyectos de investigación.

5. CONCLUSIONES

La implementación de la herramienta digital favoreció el desempeño académico del estudiante, ya que, al comparar las calificaciones, se observó que la calificación promedio ascendió de 13 puntos en la preprueba a 19.54 puntos en la posprueba, lo cual refleja una mejora en el dominio del tema. De la misma forma, se identificó un aprendizaje homogéneo del grupo, ya que el rango de calificaciones pasó de una desviación estándar de 6.64 puntos en la preprueba a 0.88 en la posprueba, donde la nota mínima se situó en 16 puntos y no se presentaron los resultados deficientes observados al inicio.

También se identificó una notable disminución en los tiempos requeridos para resolver los ejercicios, ya que luego de implementar la herramienta, el tiempo de resolución se redujo a más de la mitad. Aunque la desviación estándar aumentó a 5.29 minutos (lo cual puede deberse a distintos factores como la adaptación y destreza individual para interactuar con la herramienta digital), la reducción general del tiempo y el incremento de la puntuación en la prueba de desempeño sugiere que el recurso digital aceleró los procesos de simplificación. Estos resultados se debieron al diseño interactivo y dinámico del software, así como a la retroalimentación inmediata que recibió el estudiante, lo cual facilitó la transición de la teoría abstracta del álgebra de Boole a la práctica visual y sistemática de los mapas de Karnaugh.

La presente investigación reafirma que la integración de entornos digitales no es únicamente un proceso tecnológico, sino una oportunidad para elevar la calidad de la enseñanza superior. Se considera a las TIC como pilares clave en la innovación didáctica en temas abstractos de ingeniería y se sientan las bases metodológicas para desarrollar e integrar herramientas digitales similares. De esta manera, se recomienda a la institución proyectar el uso de estas herramientas digitales bajo una intención pedagógica clara y estructurada, reconociendo que su éxito no depende únicamente de la tecnología, sino de una integración adecuada en los contenidos curriculares, teniendo en cuenta que estas innovaciones no deben considerarse como un reemplazo total de los procesos implementados. Por consiguiente, es importante que el docente adquiriera las competencias requeridas para implementar la tecnología como un elemento académico fundamental. Finalmente, se recomienda que el estudiante asuma un rol activo en el desarrollo de sus competencias digitales sin que esto le genere una dependencia excesiva que pueda limitar su razonamiento lógico.

Conflicto de intereses / Competing interests:

Los autores declaran que el presente proyecto no representó conflicto de intereses de ninguna parte.

Rol de los autores / Authors Roles:

Mariano Matú: Conceptualización, metodología, software, curación de datos, análisis formal, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición, visualización, supervisión, administración del proyecto.

Juan Vivas: Metodología, software, validación, curación de datos, análisis formal, investigación, recursos, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición, visualización.

Lourdes Marfil: Metodología, validación, curación de datos, investigación, recursos, escritura – borrador original, escritura – revisión y edición, supervisión, administración del proyecto.

Fuentes de financiamiento / Funding:

Los autores declaran que no recibieron un fondo específico para esta investigación.

Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.



REFERENCIAS

- Acuña Acuña, E. G., & Salas Castro, F. (2023). Aprendizaje interactivo en matemáticas discretas con nuevas tecnologías. *EDU REVIEW*, 13(1), 261–279. <https://doi.org/10.37467/revedu.v11.4968>
- Balladares-Burgos, J., & Valverde-Berrocoso, J. (2022). El modelo tecnopedagógico TPACK y su incidencia en la formación docente: una revisión de la literatura. *Revista Caribeña de Investigación Educativa*, 6(1), 63–72. <https://doi.org/10.32541/recie.2022.v6i1.pp63-72>
- Barradas-Arenas, U. D., Cocón-Juárez, J. F., Pérez- Cruz, D., & Vázquez-Aragón, M. del R. (2023). El Impacto de los Simuladores en el Aprendizaje de los Sistemas Digitales. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 16(1), 67–76. <https://doi.org/10.37843/rtd.v16i1.350>
- Betancur-Chicué, V., & García-Valcárcel Muñoz-Repiso, A. (2023). Aplicación de los principios de la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia al diseño de situaciones de aprendizaje y escenarios de formación. *Education in the Knowledge Society*, 24. <https://doi.org/10.14201/eks.30882>
- Castro-Palomino, L., & Alanya Coras, E. (2024). Herramientas digitales en el desempeño de los docentes: revisión sistemática. *Horizontes. Revista de Investigación En Ciencias de La Educación*, 8(32), 288–299. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i32.723>
- Clark, D. B., Hernandez-Zavaleta, J. E., & Becker, S. (2023). *Academically Meaningful Play: Designing Digital Games for the Classroom to Support Meaningful Gameplay, Meaningful Learning, and Meaningful Access*. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104704>
- Cook, E. J. (2025). Influences on engineering students' choices of higher-level mathematics. *Australasian Journal of Engineering Education*, 30(2), 95–108. <https://doi.org/10.1080/22054952.2025.2563936>
- Dai, C.-P., Ke, F., Pan, Y., & Liu, Y. (2023). Exploring students' learning support use in digital game-based math learning: A mixed-methods approach using machine learning and multi-cases study. *Computers & Education*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104698>
- Dart, S., Cunningham, S., Gregg, A., & Young, A. (2023). Defining the capabilities required to teach engineering: Insights for achieving the Australian sector's future vision. *Australasian Journal of Engineering Education*, 28(1), 47–58. <https://doi.org/10.1080/22054952.2023.2214461>
- de Barba, P. G., Araujo Oliveira, E., & English, N. (2025). Development and validation of a learning analytics rubric for self-regulated learning. *Educational Technology Research and Development*, 73, 3223–3245. <https://doi.org/10.1007/s11423-025-10521-x>
- Douglas Rebouças, A., Lima de Oliveira, E., & de Lima Sousa, L. L. (2024). Explorando a descarga do capacitor no ensino de Física através do laboratório virtual com o Microsoft Excel®. *Caderno Pedagógico*, 21(6), 1–23. <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-242>
- García Carreño, T. J., Martín Tigselema, J., Portero Padilla, E. P., & Vinuesa Bonilla, W. A. (2025). Innovación Didáctica con la Matriz Inversa: Estrategias Visuales y Tecnológicas para Mejorar la Comprensión en Álgebra Lineal. *Reincisol*, 4(8), 1112–1135. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V4\(8\)1112-1135](https://doi.org/10.59282/reincisol.V4(8)1112-1135)
- González Torres, A., Ramírez Castañeda, I. A., & Brauer Aguilar, M. S. (2024). Competencias digitales en estudiantes de ingeniería: Análisis del uso y percepción de herramientas tecnológicas. *Revista Eduweb*, 18(3), 66–87. <https://doi.org/10.46502/issn.1856-7576/2024.18.03.7>

- Grundy, L. S., & Koretsky, M. D. (2025). "More conceptual than actual": Epistemic metacognition in response to a non-numerical statics question. *Journal of Engineering Education*, 114(4). <https://doi.org/10.1002/jee.70035>
- Guerrido-Tumbaco, M. Á., Baque-Parrales, E. M., Vera-Pisco, D., & Quishpi-Vera, H. A. (2025). La Visualización Matemática y su Impacto en la Comprensión Conceptual: Una Revisión Narrativa. *Revista Científica "INGENIAR": Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 8(15), 613–640. <https://doi.org/10.46296/ig.v8i15.0262>
- Gumaelius, L., Skogh, I. B., Matthíasdóttir, Á., & Pantzos, P. (2024). Engineering education in change. A case study on the impact of digital transformation on content and teaching methods in different engineering disciplines. *European Journal of Engineering Education*, 49(1), 70–93. <https://doi.org/10.1080/03043797.2023.2285794>
- Hare, R., Tang, Y., & Ferguson, S. (2024). An Intelligent Serious Game for Digital Logic Education to Enhance Student Learning. *IEEE Transactions on Education*, 67(3), 387–394. <https://doi.org/10.1109/TE.2024.3359001>
- Hernández Dávila, C. A., Velastegui Hernández, R. S., Mayorga Ases, L. A., & Hernández Del Salto, S. V. (2023). Métodos de enseñanza del razonamiento lógico matemático para estudiantes universitarios. *AlfaPublicaciones*, 5(4), 33–48. <https://doi.org/10.33262/ap.v5i4.409>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6th ed.). Mc Graw Hill Education.
- Hertzum, M. (2025). Understanding preference: A meta-analysis of user studies. *International Journal of Human-Computer Studies*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2024.103408>
- Jara Ulloa, F. J., & Casillas Alcalá, M. T. (2025). Efecto del uso e integración de dispositivos móviles y recursos educativos digitales en Matemáticas con estudiantes de Ingeniería. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1–15. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-298>
- Jin, T. (2023). Online interactive face-to-face learning in mathematics in engineering education. *European Journal of Engineering Education*, 48(2), 300–320. <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2117023>
- Karrenbauer, C., Brauner, T., König, C. M., & Breitner, M. H. (2023). Design, development, and evaluation of an individual digital study assistant for higher education students. *Educational Technology Research and Development*, 71, 2047–2071. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10255-8>
- Khaerunnisa, E., Muhyidin, A., Sjaifuddin, & Yuhana, Y. (2025). Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) on Mathematics Learning: A Systematic Review. *International Journal of STEM Education for Sustainability*, 5(1), 96–106. <https://doi.org/10.52889/ijses.v5i1.539>
- Lion, C.-G. (2023). La universidad en la pospandemia: escenarios de futuro. *Education in the Knowledge Society*, 24. <https://doi.org/10.14201/eks.28773>
- Martínez Guzmán, S., Jiménez Oyosa, G., Torres Martínez, I., Sartorius Castellanos, A. R., & Sevilla Morfín, J. (2024). Analogías con Compuertas Lógicas en el Aprendizaje de Conectivos Lógicos en Matemáticas Discretas: Un Enfoque en Estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TecNM Campus

- Mejía-Aguilar, G., Arévalo-Viveros, L. F., Lizcano-Dallos, A. R., & Mendoza-Higuera, E. J. (2023). Trayectorias de la enseñanza de las matemáticas en ingeniería: entornos colombiano y norteamericano. *Entramado*, 19(1). <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8571>
- Mendoza-Perez, M. A., & Vega-Mateos, R. (2023). Objeto Virtual de Aprendizaje direccionado a la Enseñanza y Aprendizaje del Sistema Binario. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 16(2), 103–114. <https://doi.org/10.37843/rted.v16i2.382>
- Mujica-Sequera, R. M. (2021). Clasificación de las Herramientas Digitales en la Tecnoeducación. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 1(1), 71–85. <https://doi.org/10.37843/rted.v1i1.257>
- Rensaa, R. J., & Henriksen, H. (2025). A workbook and assessment scheme implemented for engineering students with an aim of increasing their motivation for mathematics. *European Journal of Engineering Education*, 51(1), 63–76. <https://doi.org/10.1080/03043797.2025.2482835>
- Rizco Celleri, M. E., Espinoza Betancourt, N. J., Zurita Yepez, L. J., & Leonardo Santiago, V. L. (2025). Técnicas de Visualización para Facilitar el Aprendizaje de Conceptos Matemáticos. *Revista Científica de Innovación Educativa y Sociedad Actual "ALCON,"* 5(1), 232–242. <https://doi.org/10.62305/alcon.v5i1.406>
- Rodríguez Rincón, Y., Munárriz, A., Campión Arrastia, M. J., & Goicoechea López-Vailo, M. I. (2025). Instructional design for tutoring on interactive platforms: creating educational interventions overcoming the digital gap. *Educational Technology Research and Development*, 73, 3131–3149. <https://doi.org/10.1007/s11423-025-10516-8>
- Romo-Padilla, G. M., Rubio-Cacedo, C. C., Gómez-Rodríguez, V. G., & Nivel-Cornejo, M. A. (2023). Herramientas digitales en el proceso enseñanza-aprendizaje mediante revisión bibliográfica. *Polo del conocimiento*, 8(10), 313–344. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i10.6127>
- Salas-Rueda, R. A. (2021). Impacto del aula invertida en el proceso de enseñanza-aprendizaje sobre los mapas de Karnaugh. *Revista Electronica Educare*, 25(2), 1–22. <https://doi.org/10.15359/ree.25-2.14>
- Sangsuwan, W., Saithong, P., & Polpinij, J. (2025). Transforming Higher Education with Digital Solutions: A User-Centered Design Framework for Developing Student Handbook Applications. *European Journal of Educational Research*, 15(1), 79–99. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.15.1.79>
- Seclén Medina, A., Valladares Cisneros, M. G., Ordóñez Zea, A. E., & Gamarra Rojas, S. (2025). Modelos híbridos y metodologías de aprendizaje activo en la educación superior: enfoques innovadores para potenciar la participación estudiantil y el desarrollo de la autonomía académica. *Revista Social Fronteriza*, 5(6), 1–25. [https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5\(6\)958](https://doi.org/10.59814/resofro.2025.5(6)958)
- Sharma, K., Nguyen, A., & Hong, Y. (2024). Self-regulation and shared regulation in collaborative learning in adaptive digital learning environments: A systematic review of empirical studies. In *British Journal of Educational Technology* (Vol. 55, pp. 1398–1436). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/bjet.13459>

- Tsai, M.-J., Chien, F. P., Sun, W.-T., & Jha, N. K. (2025). How block-based programming supports novice learners' coding comprehension: Evidence from eye-tracking lag-sequential analysis. *Computers & Education*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105430>
- Tuza Torres, M. de J. (2024). El uso de la tecnología educativa en el aula: efectos en el aprendizaje colaborativo y autónomo. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2762>
- Valbuena Duarte, S., Márquez Herrera, L., Conde Carmona, R., & Chiquillo Varela, M. F. (2024). Enfoque STEAM y modelo TPACK en los métodos numéricos aplicados con software. *Tecnura*, 28(82), 27–47. <https://doi.org/10.14483/22487638.22481>
- Wolf, M., Herstätter, P., Rantschl, M., Ramsauer, C., & Magana, A. J. (2025). Immersive learning factories for promoting experiential manufacturing education and STEM competency development. *Computers and Education: X Reality*, 7, 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100125>

