

ORIGINAL

Bridging technology and cognition: investigating augmented reality acceptance and thinking skill development using SEM-IPMA analysis

Conectando la tecnología y la cognición: investigación sobre la aceptación de la realidad aumentada y el desarrollo de habilidades de pensamiento mediante análisis SEM-IPMA

Fitrika Kumala Dewi¹  , Hendra Hidayat¹  , Ernawati²  , Hansi Effendi¹  

¹ Universitas Negeri Padang, Department of Electronics Engineering. Padang. Indonesia.

² Universitas Negeri Padang, Department of Family Welfare Science. Padang. Indonesia.

Citar como: Dewi FK, Hidayat H, Ernawati, Effendi H. Bridging technology and cognition: investigating augmented reality acceptance and thinking skill development using SEM-IPMA analysis. Salud, Ciencia y Tecnología. 2025; 5:1943. <https://doi.org/10.56294/saludcyt20251943>

Enviado: 09-01-2025

Revisado: 22-04-2025

Aceptado: 18-09-2025

Publicado: 19-09-2025

Editor: Prof. Dr. William Castillo-González 

Autor para la correspondencia: Hendra Hidayat 

ABSTRACT

Introduction: prior research has predominantly focused on dissecting the Technology Acceptance Model (TAM) to elucidate users' behavioral intentions toward adopting technology. Building upon this foundational scholarship, the present study advances the discourse by examining the cognitive ramifications associated with technology adoption. In particular, this investigation seeks to elucidate the interplay between perceived usefulness, perceived ease of use, and the actual utilization of augmented reality (AR) technologies, as they pertain to the cultivation of computational thinking and critical thinking competencies.

Method: this research adopts a quantitative approach, with an associative design. A sample of 141 vocational high school students from West Sumatera, Indonesia. The collected data were examined through Structural Equation Modeling (SEM) and Importance-Performance Map Analysis (IPMA).

Results: statistical analyses indicated that both perceived ease of use and actual AR utilization significantly enhanced students' computational and critical thinking skills. While perceived usefulness significantly influenced critical thinking, its effect on computational thinking was not statistically meaningful. IPMA results further highlighted that AR's ease of use performs strongly, whereas perceived usefulness remains an area for improvement.

Conclusions: the theoretical extension of the TAM into the domain of cognitive outcomes, moving beyond its traditional behavioral scope. They also establish a compelling platform for future scholarly inquiry and the formulation of strategic, evidence-based approaches to optimizing AR integration particularly in fostering higher-order thinking.

Keywords: Augmented Reality; Technology Acceptance Model; Computational Thinking Skills; Critical Thinking Skills.

RESUMEN

Introducción: investigaciones previas han analizado el Modelo de Aceptación Tecnológica para entender la adopción de tecnología. Este estudio amplía la discusión al explorar cómo la utilidad percibida, la facilidad de uso y el uso real de la realidad aumentada influyen en el desarrollo del pensamiento computacional y crítico.

Método: esta investigación adopta un enfoque cuantitativo con un diseño asociativo. La muestra estuvo compuesta por 141 estudiantes de secundaria vocacional de Sumatra Occidental, Indonesia. Los datos recopilados fueron analizados mediante Modelado de Ecuaciones Estructurales y Análisis de Mapa de Importancia-Desempeño.

Resultados: los análisis estadísticos indicaron que tanto la facilidad de uso percibida como la utilización real de la realidad aumentada mejoraron significativamente las habilidades de pensamiento computacional y crítico de los estudiantes. Mientras que la utilidad percibida influyó de manera significativa en el pensamiento crítico, su efecto sobre el pensamiento computacional no resultó estadísticamente relevante. Los resultados del IPMA destacaron además que la facilidad de uso de la AR presenta un buen desempeño, mientras que la utilidad percibida sigue siendo un área de mejora.

Conclusiones: la extensión teórica del Modelo de Aceptación Tecnológica hacia el ámbito de los resultados cognitivos va más allá de su enfoque conductual tradicional. Asimismo, establece una plataforma sólida para futuras investigaciones académicas y para la formulación de enfoques estratégicos, basados en evidencia, que optimicen la integración de la realidad aumentada, especialmente en el fomento del pensamiento de orden superior.

Palabras clave: Realidad Aumentada; Modelo de Aceptación de la Tecnología; Habilidades de Pensamiento Computacional; Habilidades de Pensamiento Crítico.

INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada ha surgido en los últimos años como una poderosa herramienta educativa.^(1,3,3) Esta tecnología de vanguardia superpone contenido digital de manera fluida sobre el mundo físico, creando experiencias inmersivas e interactivas.⁽⁴⁾ Originalmente conceptualizada en la década de 1990, la *augmented reality* ha experimentado una transformación notable.⁽⁵⁾ Su irrupción en el mercado masivo ocurrió con el fenómeno global Pokémon Go en 2016, lo que cambió la percepción pública y abrió la puerta a la expansión de la *augmented reality* más allá del ámbito de los videojuegos. Desde entonces, ha ido cobrando relevancia en campos como la educación, la salud y la ingeniería, marcando su evolución de novedad a necesidad.

A nivel mundial, la integración de la *augmented reality* está afirmando cada vez más su prominencia en el ámbito educativo. Investigaciones previas han documentado un notable aumento en su adopción durante la última década, con tasas de publicación que crecen a un impresionante ritmo anual del 21 %.⁽⁶⁾ No obstante, la mera incorporación de la *augmented reality* en las aulas no se traduce de manera inherente en mejores resultados de aprendizaje. Para aprovechar plenamente su potencial pedagógico, es necesario realizar evaluaciones críticas de antemano. Entre las más importantes se encuentra la valoración de cómo los estudiantes adoptan y utilizan la tecnología. Esta dimensión de aceptación ha sido ampliamente estudiada en el marco del Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM, por sus siglas en inglés). El modelo sostiene que la percepción de facilidad de uso y utilidad por parte de los individuos ejerce una influencia fundamental en su disposición para adoptar tecnologías emergentes. Por otro lado, el uso real denota el grado en que los estudiantes integran y mantienen la *augmented reality* dentro de sus prácticas de aprendizaje.⁽⁷⁾ Cuando los estudiantes internalizan y respaldan la *augmented reality*, esto indica que están tanto dispuestos como suficientemente preparados para interactuar con ella en entornos de aprendizaje auténticos. Independientemente de lo avanzada que sea una herramienta tecnológica, si los estudiantes no pueden apropiársela y adaptarla con comodidad, su valor educativo inevitablemente se verá disminuido.⁽⁸⁾

Más allá de la mera aceptación, la implementación práctica de la *augmented reality* en la educación se ha relacionado estrechamente con el avance del desarrollo cognitivo de los estudiantes.⁽⁹⁾ La *augmented reality* no solo capta la atención; promueve activamente el desarrollo de habilidades de pensamiento avanzado. La investigación indica que la *augmented reality* puede mejorar las capacidades de pensamiento computacional, incluyendo descomponer problemas complejos, identificar patrones y participar en razonamientos lógicos basados en algoritmos.^(10,11,12) Al mismo tiempo, la *augmented reality* actúa como catalizador del pensamiento crítico al incentivar a los estudiantes a evaluar, interpretar y tomar decisiones bien fundamentadas a través de representaciones visuales dinámicas e interactivas.^(13,14,15) Estos beneficios se han documentado en una amplia variedad de entornos educativos, incluyendo escuelas primarias, secundarias y programas universitarios. Tales hallazgos están en consonancia con las ideas fundamentales de la Taxonomía de Bloom y el modelo constructivista de educación. El marco de Bloom sugiere que el uso estratégico de tecnologías como la *augmented reality* puede apoyar el desarrollo de habilidades cognitivas en múltiples niveles, facilitando la consecución de resultados de aprendizaje significativos.⁽¹⁶⁾ Las representaciones visuales inmersivas e interactivas de la *augmented reality* ayudan a los estudiantes a retener y comprender el material de manera más eficaz que la mera imaginación abstracta. Paralelamente, la perspectiva constructivista enfatiza la importancia de experiencias de aprendizaje enriquecidas y apoyadas visualmente.

Aunque se han realizado numerosos estudios para explorar los hechos y fenómenos relacionados con la implementación de la *augmented reality* en entornos educativos, la investigación que examine la aceptación y el uso real de la tecnología *augmented reality* desde la perspectiva de la teoría TAM, incorporando al mismo

tiempo las habilidades de pensamiento computacional y crítico de los estudiantes en una investigación unificada, sigue siendo sumamente rara, particularmente en la educación en electrónica. Esta línea de investigación es, de hecho, de gran importancia, dado que el campo de la electrónica está intrínsecamente entrelazado con los avances acelerados de las tecnologías digitales, y que estas dos competencias cognitivas, es decir, el pensamiento computacional y el pensamiento crítico, son indispensables para los estudiantes de formación profesional. Estudios previos han evaluado predominantemente la efectividad general de la *augmented reality*.^(17,18) Sin embargo, rara vez han establecido un vínculo directo con el desarrollo cognitivo de los estudiantes. Esta deficiencia genera una brecha teórica relevante que requiere ser revelada de manera sistemática mediante procedimientos académicos rigurosos.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es investigar la relación entre la percepción de utilidad, la percepción de facilidad de uso y el uso real de la tecnología *augmented reality*, así como su impacto en el desarrollo de las habilidades de pensamiento computacional y pensamiento crítico entre estudiantes de educación secundaria vocacional especializados en ingeniería electrónica. Los objetivos de esta investigación se alinean con el marco conceptual ilustrado en la figura 1.

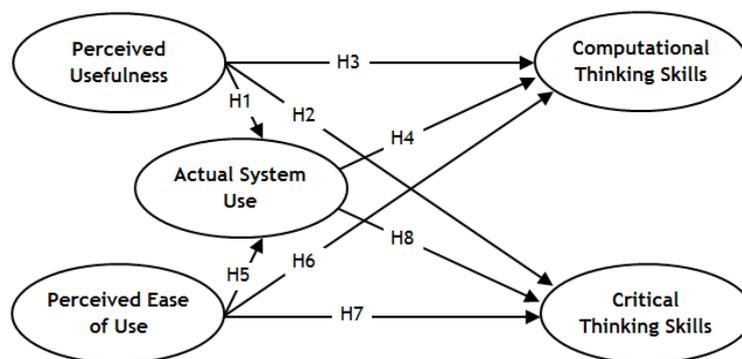


Figura 1. Marco de Investigación

El marco conceptual que sustenta esta investigación plantea ocho hipótesis directas, formuladas de la siguiente manera:

- H1: la percepción de utilidad tiene un impacto positivo en el uso real del sistema.
- H2: la percepción de utilidad tiene un impacto positivo en las habilidades de pensamiento crítico.
- H3: la percepción de utilidad tiene un impacto positivo en las habilidades de pensamiento computacional.
- H4: el uso real del sistema tiene un impacto positivo en las habilidades de pensamiento computacional.
- H5: la percepción de facilidad de uso tiene un impacto positivo en el uso real del sistema.
- H6: la percepción de facilidad de uso tiene un impacto positivo en las habilidades de pensamiento computacional.
- H7: la percepción de facilidad de uso tiene un impacto positivo en las habilidades de pensamiento crítico.
- H8: el uso real del sistema tiene un impacto positivo en las habilidades de pensamiento crítico.

MÉTODO

Diseño de la Investigación

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo con un diseño asociativo, seleccionado para adecuarse al objetivo principal de la investigación. Se centra en identificar las relaciones entre las variables y evaluar la influencia de la percepción de utilidad, la percepción de facilidad de uso y el uso real del sistema sobre el pensamiento computacional y el pensamiento crítico. La investigación también aborda las suposiciones o hipótesis planteadas en la estructura inicial del estudio.

Participantes

Los participantes de este estudio estuvieron conformados por estudiantes de 10.º, 11.º y 12.º grado inscritos en el programa de Ingeniería Electrónica de una escuela secundaria vocacional ubicada en Sumatra Occidental, Indonesia. Un total de 141 estudiantes participaron en la investigación. La muestra se seleccionó mediante muestreo intencional, dado que el contenido de *augmented reality* utilizado en el estudio fue diseñado específicamente para alinearse con los materiales de aprendizaje ya existentes de los estudiantes.⁽¹⁹⁾ La implementación de la *augmented reality* se llevó a cabo a lo largo de múltiples sesiones de aprendizaje. Una vez que los estudiantes completan todas las fases es decir, revisar los materiales de aprendizaje proporcionados,

escanear marcadores para acceder a modelos 3D y animaciones de augmented reality, y participar en un cuestionario de evaluación se les invita a completar una encuesta de investigación para reflexionar sobre su experiencia. Un ejemplo de un escenario de aprendizaje basado en RA se muestra en la figura 2.

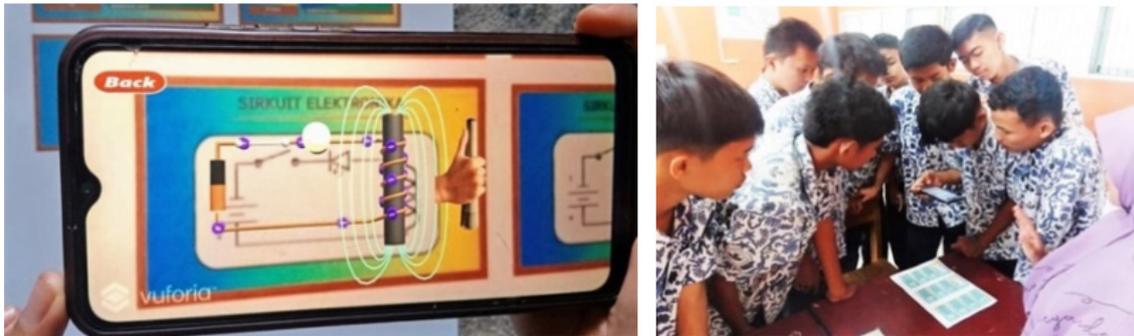


Figura 2. Implementación de la Realidad Aumentada en el Proceso de Aprendizaje

Todos los estudiantes participantes habían completado previamente múltiples sesiones de aprendizaje basadas en augmented reality. Los detalles del perfil de los estudiantes se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Perfil de los Respondientes			
Característica de la muestra		Frecuencia	Porcentaje
Grado	10	62	44 %
	11	44	31, %
	12	35	24,8 %
	Total	141	100 %
Género	Masculino	123	87,2 %
	Femenino	18	12,8 %
	Total	141	100 %
Edad	15 - 16 años	39	27,7 %
	17 - 18 años	80	56,7 %
	19 - 20 años	19	13,5 %
	> 20 años	3	2,1 %
	Total	141	100 %

Medidas

Las herramientas de medición empleadas en este estudio fueron adaptadas de múltiples investigaciones previas. El constructo de percepción de utilidad de la augmented reality se midió utilizando ítems adaptados de un estudio que examinó herramientas en línea para el aprendizaje, el cual proporcionó medidas relevantes para el contexto educativo.⁽²⁰⁾ La percepción de facilidad de uso se evaluó mediante un instrumento adaptado de un estudio sobre el uso de la inteligencia artificial en el aprendizaje.⁽²¹⁾ El uso real de la augmented reality se midió utilizando ítems adaptados de un estudio que examinó el uso real del aprendizaje combinado en la educación superior.⁽²²⁾ Mientras tanto, las habilidades de pensamiento computacional y pensamiento crítico se evaluaron mediante instrumentos desarrollados en estudios anteriores.^(23,24)

Cada uno de los instrumentos referenciados había sido previamente sometido a pruebas estadísticas de validez y fiabilidad, como la validez de constructo y los coeficientes de confiabilidad, en sus estudios originales. Además, estos instrumentos han sido citados y adoptados en investigaciones posteriores, lo que respalda su aceptación y reconocimiento como medidas apropiadas y consistentes para el presente estudio. Sin embargo, dado que estas herramientas se desarrollaron originalmente a través de diversos estudios internacionales con poblaciones variadas, requerían traducción al idioma local y fueron diseñadas en torno a distintos tipos de tecnologías, se llevó a cabo primero una fase de validación por expertos.⁽²⁵⁾ Esta fase incluyó una revisión exhaustiva tanto lingüística como de contenido por parte de especialistas en la materia, con el fin de garantizar que los instrumentos adaptados fueran gramaticalmente precisos, contextualmente relevantes y teóricamente sólidos. Tras la validación por expertos, se realizó un estudio piloto con 38 estudiantes que no formaban parte de la muestra principal. El objetivo de esta fase preliminar fue evaluar la usabilidad práctica de los instrumentos revisados, asegurando que el lenguaje fuera claro, culturalmente apropiado y metodológicamente correcto antes de su aplicación en el estudio principal.

Los datos primarios para esta investigación se recopilaron mediante una encuesta en línea distribuida a través

de Google Forms. El instrumento utilizado fue un cuestionario estructurado que empleaba una escala Likert de 5 puntos, que iba de 5 (totalmente de acuerdo) a 1 (totalmente en desacuerdo). El proceso de recolección de datos se llevó a cabo después de que los estudiantes completaran una serie de tareas de simulación basadas en augmented reality. Durante estas actividades, los estudiantes debían personalizar, experimentar y evaluar circuitos electrónicos virtuales, reforzando los principios clave de la electrónica mientras interactuaban con el entorno de augmented reality.

Análisis de Datos

Los datos recopilados fueron examinados mediante Modelado de Ecuaciones Estructurales con el apoyo de SmartPLS 3. El análisis comenzó con una evaluación del modelo externo para confirmar la fiabilidad y validez de los instrumentos de medición. Un indicador se considera válido cuando su carga externa (outer loading) supera 0,7, lo que indica que representa de manera efectiva su constructo latente correspondiente. Además de las cargas externas, el Promedio de Varianza Extraída (AVE) se utiliza como una métrica complementaria de validez.⁽²⁶⁾ Un valor de AVE superior a 0,5 implica que el constructo explica más de la mitad de la varianza observada en sus indicadores.⁽²⁷⁾ Más allá de evaluar la validez, el análisis también incluyó una verificación de fiabilidad para determinar la consistencia interna de cada constructo. La fiabilidad refleja la estabilidad y coherencia de las respuestas de los participantes ante indicadores idénticos a lo largo del tiempo o entre diferentes grupos. Para ello, se emplearon el alfa de Cronbach y la Fiabilidad Compuesta (CR), esperando que ambos indicadores cumplan o superen el umbral recomendado de 0,7.⁽²⁸⁾ La tabla 2 proporciona un resumen completo de las evaluaciones de validez y fiabilidad realizadas para cada ítem dentro del instrumento de investigación.

Variable	Item	Outer loading	AVE	Cronbach's alpha	CR
Perceived Usefulness (PU)	PU1	0,839	0,660	0,829	0,886
	PU2	0,827			
	PU3	0,788			
	PU4	0,794			
Perceived Ease of Use (PEU)	PEU1	0,795	0,706	0,861	0,906
	PEU2	0,880			
	PEU3	0,821			
	PEU4	0,863			
Actual System Use (ASU)	ASU1	0,758	0,610	0,872	0,904
	ASU2	0,752			
	ASU3	0,785			
	ASU4	0,779			
	ASU5	0,801			
	ASU6	0,810			
Computational Thinking Skills (COTS)	COTS1	0,705	0,615	0,790	0,864
	COTS2	0,798			
	COTS3	0,799			
	COTS4	0,829			
Critical Thinking Skills (CITS)	CITS1	0,757	0,616	0,791	0,865
	CITS2	0,744			
	CITS3	0,817			
	CITS4	0,817			

Como se muestra en la tabla 2, todos los ítems de medición cumplen con los estándares requeridos de validez. Cada ítem presenta una carga externa superior a 0,7, mientras que todos los valores de AVE superan el umbral de 0,5. Además, el instrumento demuestra una fiabilidad sólida, ya que tanto el alfa de Cronbach como los valores de fiabilidad compuesta para cada constructo superan el mínimo recomendado de 0,7. Estos resultados confirman que el instrumento es preciso y confiable, lo que lo hace adecuado para el análisis estructural subsecuente.

Tras la evaluación del modelo externo, se llevó a cabo la evaluación del modelo interno para probar las relaciones estructurales entre las variables latentes y examinar las hipótesis propuestas. La decisión de aceptar o rechazar una hipótesis se basó en dos criterios estadísticos, la estadística t, donde valores iguales o superiores a 1,96 indican significancia al nivel de confianza del 95 %, y el valor p, donde valores menores o iguales a 0,05

confirman la significancia.⁽²⁹⁾ Para interpretar la fuerza y dirección de estas relaciones, se analizó el coeficiente de trayectoria (β), con valores que oscilan entre -1 y +1, donde los valores positivos indican efectos directos y los valores negativos indican efectos inversos. Además, se llevó a cabo un Análisis de Importancia-Rendimiento para identificar los constructos que influyen con mayor fuerza en las habilidades de pensamiento computacional y crítico de los estudiantes, proporcionando al mismo tiempo recomendaciones prácticas sobre qué aspectos deberían priorizarse, mantenerse o dejar sin cambios para optimizar la efectividad de la realidad aumentada en el desarrollo cognitivo.

RESULTADOS

Resultado de las Hipótesis

Un total de ocho hipótesis dentro del modelo estructural fueron evaluadas estadísticamente mediante SEM. Este análisis examinó tanto la magnitud como la dirección de las relaciones entre los constructos latentes descritos en el marco de investigación (figura 1). Los resultados completos de la evaluación del modelo interno, incluidos los valores de β , las estadísticas t y los valores p para cada relación propuesta, se presentan en la figura 3, figura 4 y tabla 3.

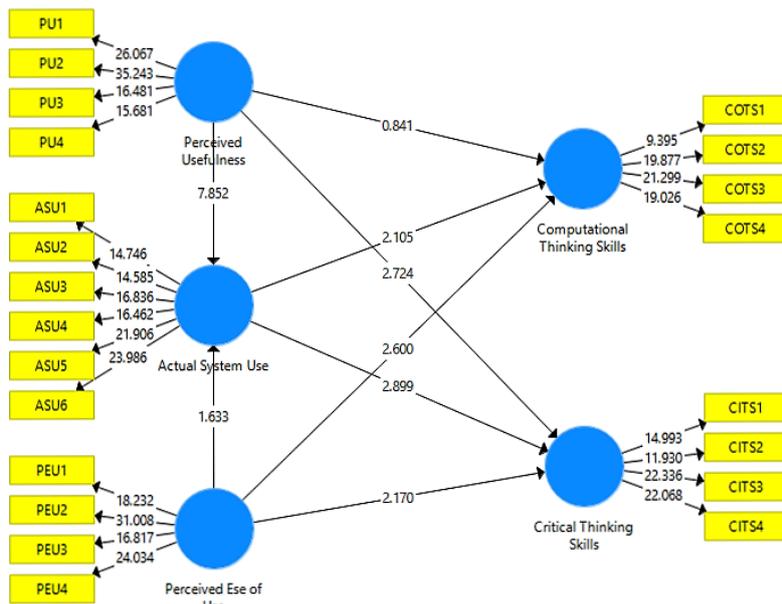


Figura 3. Resultado de T-statistic

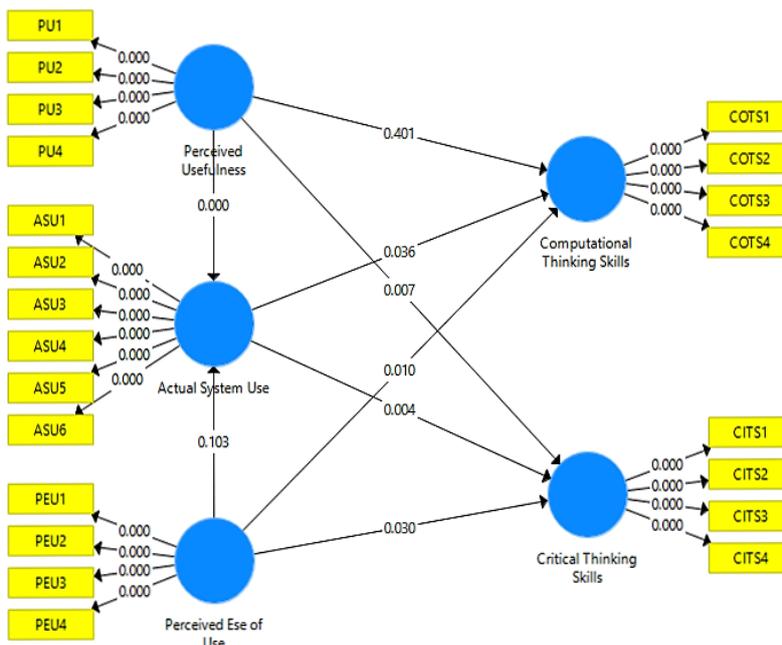


Figura 4. Resultado del P-value

Hipótesis	β	T-statistic	P-value	Resultado
H1 Utilidad Percibida -> Uso Real del Sistema	0,668	7,852	0,000	Apoyada
H2 Utilidad Percibida -> Habilidades de Pensamiento Crítico	0,350	2,724	0,007	Apoyada
H3 Utilidad Percibida -> Habilidades de Pensamiento Computacional	0,110	0,841	0,401	No apoyada
H4 Uso Real del Sistema -> Habilidades de Pensamiento Computacional	0,292	2,105	0,036	Apoyada
H5 Facilidad de Uso Percibida -> Uso Real del Sistema	0,159	1,633	0,103	No apoyada
H6 Facilidad de Uso Percibida -> Habilidades de Pensamiento Computacional	0,335	2,600	0,010	Apoyada
H7 Facilidad de Uso Percibida -> Habilidades de Pensamiento Crítico	0,206	2,170	0,030	Apoyada
H8 Uso Real del Sistema -> Habilidades de Pensamiento Crítico	0,350	2,899	0,004	Apoyada

Con base en el análisis de bootstrapping, varias hipótesis fueron validadas, mientras que otras no lo fueron. La Hipótesis 1 fue estadísticamente confirmada, revelando una relación positiva y significativa entre la utilidad percibida y el uso real del sistema ($B = 0,668$, estadístico $t = 7,852$ y valor $p = 0,000$). De manera similar, la Hipótesis 2 fue respaldada, mostrando una asociación positiva y significativa entre la utilidad percibida y las habilidades de pensamiento crítico ($B = 0,350$, estadístico $t = 2,724$ y valor $p = 0,007$). Sin embargo, la Hipótesis 3 no fue respaldada. Aunque la relación entre la utilidad percibida y las habilidades de pensamiento computacional fue positiva, no resultó estadísticamente significativa ($B = 0,110$, estadístico $t = 0,841$ y valor $p = 0,401$). Finalmente, la Hipótesis 4 fue validada, lo que indica una relación positiva y significativa entre el uso real del sistema y las habilidades de pensamiento computacional ($B = 0,292$, estadístico $t = 2,105$ y valor $p = 0,036$).

La Hipótesis 5, que proponía una relación positiva entre la facilidad de uso percibida y el uso real del sistema, no fue estadísticamente significativa ($B = 0,159$, estadístico $t = 1,633$ y valor $p = 0,103$). La Hipótesis 6 fue respaldada, revelando un vínculo positivo y significativo entre la facilidad de uso percibida y las habilidades de pensamiento computacional ($B = 0,335$, estadístico $t = 2,600$ y valor $p = 0,010$). La Hipótesis 7 también obtuvo apoyo, mostrando un impacto positivo y significativo de la facilidad de uso percibida sobre las habilidades de pensamiento crítico ($B = 0,206$, estadístico $t = 2,170$ y valor $p = 0,030$). La Hipótesis 8 fue confirmada, revelando una relación positiva y significativa entre el uso real del sistema y las habilidades de pensamiento crítico ($B = 0,350$, estadístico $t = 2,899$ y valor $p = 0,004$).

El análisis fue más allá de la evaluación de las relaciones directas, al investigar también los posibles efectos indirectos. Este enfoque tuvo como objetivo descubrir los roles mediadores desempeñados por variables específicas dentro del modelo. Los resultados de este análisis ampliado se resumen en la tabla 4.

Hipótesis	β	T-statistic	P-value	Resultado
Utilidad Percibida -> Uso Real del Sistema -> Habilidades de Pensamiento Crítico	0,234	2,768	0,006	Apoyada
Utilidad Percibida -> Uso Real del Sistema -> Habilidades de Pensamiento Computacional	0,195	2,056	0,040	Apoyada
Facilidad de Uso Percibida -> Uso Real del Sistema -> Habilidades de Pensamiento Computacional	0,047	1,217	0,224	No apoyada
Facilidad de Uso Percibida -> Uso Real del Sistema -> Habilidades de Pensamiento Crítico	0,056	1,314	0,189	No apoyada

Con base en el análisis de los efectos indirectos, se identificaron dos trayectorias de mediación estadísticamente significativas, mientras que las dos restantes no alcanzaron significancia. En primer lugar, la

trayectoria que conecta la utilidad percibida con las habilidades de pensamiento crítico estuvo mediada por el uso real del sistema. Esta trayectoria reveló un efecto indirecto positivo y significativo ($\beta = 0,234$, estadístico $t = 2,768$, valor $p = 0,006$). De manera similar, la utilidad percibida ejerció una influencia indirecta positiva y significativa sobre las habilidades de pensamiento computacional a través del uso real del sistema ($\beta = 0,195$, estadístico $t = 2,056$, valor $p = 0,040$). En contraste, las otras dos trayectorias de mediación no arrojaron resultados estadísticamente significativos. La trayectoria de la facilidad de uso percibida hacia las habilidades de pensamiento computacional, con el uso real del sistema como mediador, mostró un efecto indirecto no significativo ($\beta = 0,047$, estadístico $t = 1,217$, valor $p = 0,224$). Asimismo, la trayectoria de la facilidad de uso percibida hacia las habilidades de pensamiento crítico, también mediada por el uso real del sistema, no logró alcanzar significancia ($\beta = 0,056$, estadístico $t = 1,314$, valor $p = 0,189$).

Análisis de Mapa de Importancia-Desempeño

El IPMA ofrece valiosas perspectivas al ilustrar de manera clara cómo cada variable influye en el estudio, entrelazando su importancia con su efectividad en relación con las medidas de resultado principales. En esta investigación, los constructos focales bajo examen son las habilidades de pensamiento computacional y las habilidades de pensamiento crítico. Este análisis ilumina los factores con mayor potencial para generar un impacto significativo y orienta los esfuerzos hacia aquellas áreas con más probabilidad de mejorar los resultados de aprendizaje. Los resultados de este análisis se muestran en la figura 5 y la figura 6.

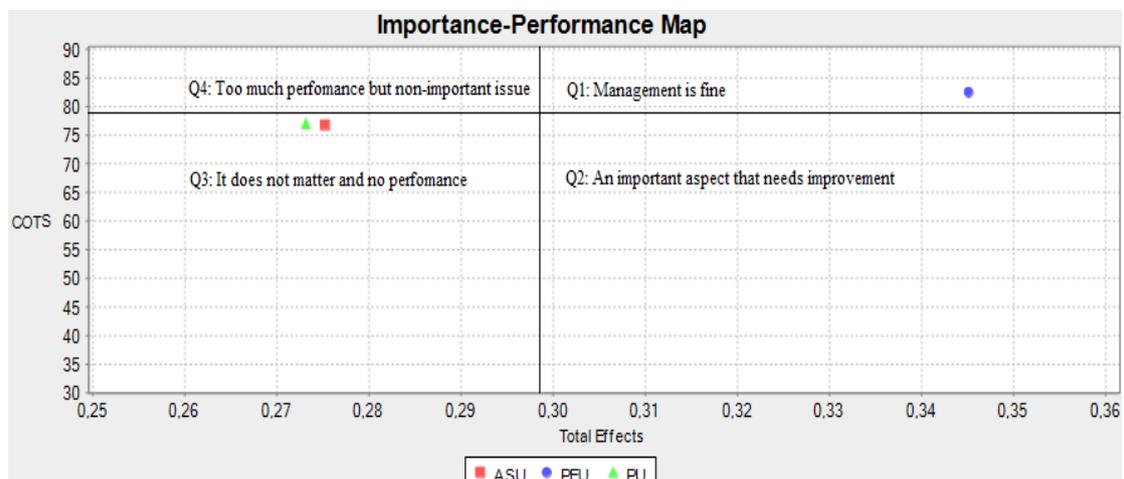


Figura 5. IPMA de las Habilidades de Pensamiento Computacional

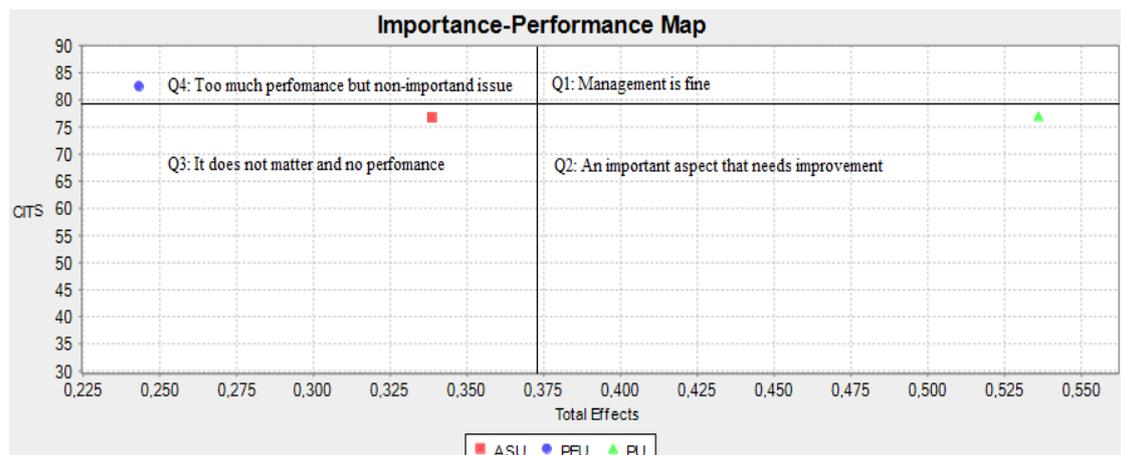


Figura 6. IPMA de las Habilidades de Pensamiento Crítico

De acuerdo con la figura 5, las tres variables principales del modelo TAM influyen en el primer constructo objetivo, es decir, las habilidades de pensamiento computacional. La facilidad de uso percibida se ubica en el Cuadrante 1, lo que significa que ocupa una posición alta tanto en importancia como en desempeño. Por el contrario, las otras dos variables, es decir, la utilidad percibida y el uso real del sistema, se localizan en el Cuadrante 3, lo que denota niveles relativamente bajos tanto de importancia como de desempeño.

La figura 6 ilustra el análisis del segundo constructo objetivo, las habilidades de pensamiento crítico. En

este análisis, la variable utilidad percibida (PU) aparece en el Cuadrante 2. Esta ubicación revela que, aunque los estudiantes reconocen la utilidad de la realidad aumentada como significativa, su desempeño actual se encuentra por debajo de las expectativas. En contraste, el uso real del sistema (ASU) se sitúa en el Cuadrante 3, lo que indica que posee una importancia limitada y un desempeño deficiente, sin justificar por ahora una intervención estratégica inmediata. Mientras tanto, la facilidad de uso percibida (PEU) se ubica en el Cuadrante 4, mostrando un desempeño sólido pero ofreciendo una influencia mínima en el avance de las habilidades de pensamiento crítico.

DISCUSIÓN

El análisis reveló que la utilidad percibida ejerce una influencia positiva y significativa sobre el uso real (H1). Estudios previos también han corroborado esta relación en diversos contextos, incluidos el aprendizaje en línea, los entornos de aprendizaje apoyados en tecnología y los sistemas de información en salud.^(30,31,32) En consonancia con hallazgos anteriores, se demostró además que la utilidad percibida tiene un efecto positivo sobre las habilidades de pensamiento crítico (H2). Este resultado coincide con investigaciones previas,^(33,34,35) que encontraron que la utilidad percibida de la inteligencia artificial generativa contribuye significativamente a la mejora de las habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes. En contraste con estudios anteriores, la utilidad percibida no mostró un impacto significativo en las habilidades de pensamiento computacional (H3). Este resultado difiere de investigaciones previas que reportaron una relación positiva y significativa entre la utilidad percibida de la tecnología de realidad aumentada y las habilidades de pensamiento de los estudiantes.^(36,37) La divergencia puede comprenderse a la luz de los diferentes contextos educativos y las características de los aprendices. La mayoría de los estudios anteriores se realizaron con estudiantes de educación escolar o universitaria general, quienes se encuentran en etapas más tempranas del desarrollo cognitivo y, por lo tanto, son más propensos a mostrar avances medibles en sus habilidades de pensamiento cuando se apoyan en tecnologías útiles. En cambio, la presente investigación se centra en estudiantes de formación profesional, quienes poseen orientaciones de aprendizaje y énfasis en competencias prácticas distintos. La educación vocacional tiende a priorizar las competencias aplicadas y las destrezas prácticas por encima del razonamiento abstracto o de orden superior asociado al pensamiento computacional. En consecuencia, aunque los estudiantes de formación profesional pueden percibir la tecnología de realidad aumentada como beneficiosa para mejorar la eficiencia en tareas o el desempeño práctico, dichas percepciones no se traducen automáticamente en un fortalecimiento de sus habilidades de pensamiento computacional. No obstante, los resultados indican que el uso real de la realidad aumentada mejora significativamente las habilidades de pensamiento computacional de los estudiantes (H4), en concordancia con los hallazgos de estudios previos.^(38,39) Esto sugiere que, aunque la utilidad percibida por sí sola no influya directamente en el pensamiento computacional de los estudiantes de formación profesional, la participación activa en el uso de la realidad aumentada a través de un empleo constante y efectivo en la instrucción proporciona el aprendizaje experiencial necesario para fomentar niveles más altos de razonamiento computacional.

La relación entre la facilidad de uso percibida y el uso real del sistema fue positiva, pero estadísticamente no significativa (H5), lo que se aparta de las expectativas planteadas habitualmente por el marco del TAM.^(40,41) La falta de apoyo empírico para esta hipótesis sugiere que percibir el sistema de *augmented reality* como fácil de usar no incentiva de manera sustancial a los estudiantes a interactuar con él de forma constante. En este escenario, la facilidad de uso no logra funcionar como un catalizador decisivo para la utilización real. Incluso cuando la *augmented reality* se integra técnicamente en el entorno de aula, los estudiantes pueden mostrar reticencia o experimentar dificultades derivadas de la falta de familiaridad al interactuar con ella. Posteriormente, surgió un vínculo estadísticamente significativo entre la facilidad de uso percibida y las habilidades de pensamiento computacional (H6). Este resultado coincide con los hallazgos de investigaciones previas,^(42,43) que subrayan que cuando los estudiantes consideran una tecnología como intuitiva, se desmantelan barreras que obstaculizan un aprendizaje eficaz. Asimismo, se corroboró una asociación positiva y estadísticamente significativa entre la facilidad de uso percibida y las habilidades de pensamiento crítico (H7). Este resultado se alinea con investigaciones previas,⁽³³⁾ que demostraron que la facilidad de uso percibida de la inteligencia artificial generativa propició una mejora significativa en las capacidades de pensamiento crítico de los estudiantes. De manera similar, en el presente estudio, la facilidad de uso de la tecnología de RA se relaciona con avances en las habilidades analíticas de los estudiantes. Por último, se identificó una relación positiva y estadísticamente significativa entre el uso real del sistema y las habilidades de pensamiento crítico (H8). Este hallazgo coincide con los principios del aprendizaje experiencial y la teoría constructivista, ambos de los cuales enfatizan que la participación inmersiva amplifica la comprensión. Al involucrarse activamente con la RA, los estudiantes se ven impulsados a investigar, experimentar, reflexionar e interrogar la información de manera crítica.

El análisis de los efectos indirectos reveló que la utilidad percibida mejoró de manera significativa tanto el pensamiento crítico como el pensamiento computacional a través del uso real del sistema, lo que resalta su

papel central en la promoción del desarrollo cognitivo. En contraste, la facilidad de uso percibida no mostró efectos indirectos significativos, lo que sugiere que la facilidad por sí sola puede no impulsar directamente una participación significativa con la *augmented reality*. La investigación educativa ha confirmado de manera consistente que la utilidad percibida prevalece sobre la facilidad de uso en la predicción de la adopción tecnológica.^(44,45,46) Sin embargo, los hallazgos del análisis IPMA indican que tanto la utilidad percibida como la facilidad de uso son igualmente importantes y deben priorizarse en el desarrollo de la *augmented reality* para la educación. Mientras que la utilidad percibida funciona como el principal motivador para un uso sostenido, la facilidad de uso garantiza la accesibilidad y reduce las barreras de adopción. En conjunto, estos dos factores conforman una base complementaria para maximizar el impacto educativo de la tecnología de *augmented reality*.

En términos prácticos, estos hallazgos resaltan la necesidad de que los educadores y las partes interesadas se concentren en desarrollar aplicaciones de *augmented reality* que sean tanto pedagógicamente beneficiosas como intuitivamente utilizables. Los estudiantes tienen más probabilidades de usar la *augmented reality* de manera significativa cuando perciben beneficios claros para el aprendizaje, y sus habilidades cognitivas mejoran en mayor medida cuando las herramientas de *augmented reality* se utilizan de manera constante. Por lo tanto, las instituciones educativas no solo deben garantizar la accesibilidad técnica y la facilidad de uso, sino también diseñar contenidos de *augmented reality* que ofrezcan un valor educativo claro. Priorizar ambos aspectos puede maximizar el potencial de la *augmented reality* para fomentar el pensamiento computacional y crítico de los estudiantes. Este estudio presenta varias limitaciones, entre ellas su enfoque en estudiantes de formación profesional en ingeniería electrónica, el uso de la *augmented reality* únicamente en la instrucción de electrónica básica y una muestra geográficamente limitada a una sola provincia. Además, la dependencia de datos autoinformados mediante encuestas puede introducir sesgos en las respuestas. Investigaciones futuras deberían ampliar la diversidad de participantes en distintas disciplinas y regiones, así como adoptar métodos mixtos como observaciones, entrevistas o estudios cualitativos con el fin de obtener perspectivas más profundas y fiables sobre el impacto de la RA en el desarrollo cognitivo.

CONCLUSIONES

Este estudio ofrece una perspectiva reforzada sobre cómo la aceptación y utilización de la realidad aumentada por parte de los estudiantes contribuyen de manera significativa al desarrollo de habilidades de pensamiento computacional y crítico. Centrado en estudiantes de bachillerato vocacional en ingeniería electrónica, el estudio vincula de manera deliberada la teoría del modelo de aceptación tecnológica (TAM) con los resultados del aprendizaje cognitivo. De este modo, aborda una brecha crítica en la literatura existente, que con frecuencia limita el TAM a la predicción del comportamiento de uso en lugar de su impacto educativo. Esta integración no solo es metodológicamente relevante, sino también pedagógicamente urgente, ya que refleja las demandas evolutivas del aprendizaje mediado por tecnología. Los resultados demuestran que la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida no son actitudes periféricas, sino facilitadores clave de un compromiso sostenido y significativo con la *augmented reality*. Además, el uso real del sistema emerge como un constructo mediador fundamental que traduce de manera efectiva las percepciones de los usuarios en un desarrollo cognitivo tangible. Estos hallazgos refuerzan la extensión teórica del TAM hacia el dominio de los resultados cognitivos, superando su alcance tradicional centrado en el comportamiento. Asimismo, establecen una base convincente para futuras investigaciones académicas y para la formulación de enfoques estratégicos basados en evidencia que optimicen la integración de la *augmented reality*, particularmente en la promoción del pensamiento de orden superior dentro de los entornos de educación vocacional.

REFERENCIAS

1. Kusum JW, Akbar MR, Fitrah M. Dimensi Media Pembelajaran (Teori dan Penerapan Media Pembelajaran Pada Era Revolusi Industri 4.0 Menuju Era Society 5.0). PT. Sonpedia Publishing Indonesia; 2023.
2. Anwar M, Hendriyani Y, Zulwisli, Hidayat H, Sabrina E. Analyzing the Impact of Augmented Reality on Trait Thinking for Electronics Science Learning in Engineering Education. *Int J Inf Educ Technol*. 2024;14(11):1624-37.
3. Criollo-C S, Guerrero-Arias A, Arif YM, Samala AD, Jaramillo-Alcázar Á, Luján-Mora S. Usability Evaluation of a Mobile Augmented Reality App for PC Hardware Training: A Comparative Study in Three Countries. *Emerg Sci J*. 2025;9(2):977-94.
4. Nelson S, Darni R, Haris F, Ilham I, Ndayisenga J, Septri S, et al. The effectiveness of learning media based on digital augmented reality (AR) technology on the learning outcomes of martial arts. *Retos*. 2025;63:878-85.
5. Arena F, Collotta M, Pau G, Termine F. An Overview of Augmented Reality. *Computers*. 2022;11(2).

6. Garzón J. An overview of twenty-five years of augmented reality in education. *Multimodal Technol Interact.* 2021;5(7).
7. Mella-Norambuena J, Chiappe A, Badilla-Quintana MG. Theoretical and empirical models underlying the teaching use of LMS platforms in higher education: a systematic review. *J Comput Educ.* 2024;
8. Farell G, Latt CNZ, Jalinus N, Yulastri A, Wahyudi R. Analysis of Job Recommendations in Vocational Education Using the Intelligent Job Matching Model. *Int J Informatics Vis.* 2024;8(1):361-7.
9. Budayawan K, Ganefri G, Anwar M, Samala AD, Howard NJ, Sandra RP. Predicting Student Graduation Outcomes: An Evaluation of Project-Based Learning and Implementation of Naïve Bayes. *TEM J.* 2025;14(2):1586-601.
10. Huang S-Y, Tarng W, Ou K-L. Effectiveness of AR board game on computational thinking and programming skills for elementary school students. *Systems.* 2023;11(1):25.
11. Lin Y-S, Chen S-Y, Tsai C-W, Lai Y-H. Exploring computational thinking skills training through augmented reality and AloT learning. *Front Psychol.* 2021;12:640115.
12. Abdul Hanid MF, Mohamad Said MNH, Yahaya N, Abdullah Z. Effects of augmented reality application integration with computational thinking in geometry topics. *Educ Inf Technol.* 2022;27(7):9485-521.
13. Faridi H, Tuli N, Mantri A, Singh G, Gargrish S. A framework utilizing augmented reality to improve critical thinking ability and learning gain of the students in Physics. *Comput Appl Eng Educ.* 2021;29(1):258-73.
14. Demircioglu T, Karakus M, Ucar S. Developing students' critical thinking skills and argumentation abilities through augmented reality-based argumentation activities in science classes. *Sci Educ.* 2023;32(4):1165-95.
15. Utami ANW, Rusnilawati R. Augmented Reality-based Discovery Learning: an Effective Strategy to Improve Critical Thinking in Sciences for Grade IV. *Lect J Pendidik.* 2025;16(1):293-306.
16. Nehru RSS, Paredes S, Roy SC, Cuong TQ, Huong BTT. Implementing the Revised Bloom's Taxonomy (2001) in AI-Digital and Online Learning Environments: A Strategic Approach. *Indian J Educ Technol.* 2025;7(1):173-89.
17. Fadillah R, Ganefri G, Yulastri A, Luthfi A, Hidayat H, Samala AD, et al. Digital Entrepreneurship Research for Learning and Teaching in Education: A Bibliometric Analysis. *TEM J.* 2024;(August):1997-2011.
18. Anwar M, Rahmawati Y, Yuniarti N, Hidayat H, Sabrina E. Leveraging Augmented Reality to Cultivate Higher-Order Thinking Skills and Enhance Students' Academic Performance. *Int J Inf Educ Technol.* 2024;14(10):1405-13.
19. Lenaini I. Teknik Pengambilan Sampel Purposive dan Snowball Sampling. *Kajian, Penelit Pengemb Pendidik Sej.* 2021;6(1):33-9.
20. Linus AA, Aladesusi GA, Monsur IA, Elizabeth FJ. Perceived Usefulness, Ease of Use, And Intention to Utilize Online Tools for Learning Among College of Education Students. *Indones J Multidiscipliner Res.* 2025;5(1):41-52.
21. Yao N, Wang Q. Factors influencing pre-service special education teachers' intention toward AI in education: Digital literacy, teacher self-efficacy, perceived ease of use, and perceived usefulness. *Heliyon.* 2024;10(14):e34894. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34894>
22. Anthony B, Kamaludin A, Romli A. Predicting Academic Staffs Behaviour Intention and Actual Use of Blended Learning in Higher Education: Model Development and Validation. *Technology, Knowledge and Learning.* Springer Netherlands; 2021;28:1223-1269. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09579-2>
23. Wardani SS, Susanti RD, Taufik M. Implementasi Pendekatan Computational Thinking Melalui Game Jungle Adventure Terhadap Kemampuan Problem Solving. *SJME (Supremum J Math Educ.* 2022;6(1):1-13.
24. Shin H, Park CG, Kim H. Validation of Yoon's Critical Thinking Disposition Instrument. *Asian Nurs Res*

(Korean Soc Nurs Sci). 2015;9(4):342-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anr.2015.10.004>

25. Zohoorian Z, Matin Sadr N, Zeraatpisheh M. Development and validation of the language teachers' adaptive thinking scale. *Think Ski Creat.* 2023;48:101238. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101238>

26. Ganefri, Nordin NM, Yulastri A, Hidayat H. The Analysis Factors Influencing the Implementation of Digital Social Entrepreneurship Application in Learning Engineering Education Using Structural Equation Modelling. *Int J Informatics Vis.* 2024;8(3):1344-51.

27. Hair JF, Ringle CM, Sarstedt M. PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *J Mark Theory Pract.* 2011;19(2):139-52.

28. Hair JF, Risher JJ, Sarstedt M, Ringle CM. When to use and how to report the results of PLS-SEM. *Eur Bus Rev.* 2019;31(1):2-24.

29. Habibi DH, Firdaus MA, Agung S. Pengaruh Kompensasi dan Disiplin Kerja Terhadap Kinerja Karyawan PT. Canopus Konverta Industri. *Indones J Innov Multidisipliner Res.* 2023;1(3):155-64.

30. Hasan I, Permana B. Tools of Knowledge Sharing Dalam Kebijakan Teknologi E-Learning: Studi Kasus Tingkat Penerimaan Teknologi Pada Poltek Stia Lan Bandung. *Kebijak J Ilmu Adm.* 2022;13(2):154-70.

31. Luo J, Ahmad SF, Alyaemeni A, Ou Y, Irshad M, Alyafi-Alzahri R, et al. Role of perceived ease of use, usefulness, and financial strength on the adoption of health information systems: the moderating role of hospital size. *Humanit Soc Sci Commun.* 2024;11(1).

32. Al-Rayes S, Alumran A, Aljanoubi H, Alkaltham A, Alghamdi M, Aljabri D. Awareness and Use of Virtual Clinics following the COVID-19 Pandemic in Saudi Arabia. *Healthc.* 2022;10(10).

33. Zhou X, Teng D, Al-Samarraie H. The Mediating Role of Generative AI Self-Regulation on Students' Critical Thinking and Problem-Solving. *Educ Sci.* 2024;14(12).

34. Saidin NF, Halim NDA, Yahaya N, Zulkifli NN. Enhancing students' critical thinking and visualisation skills through mobile augmented reality. *Knowl Manag E-Learning An Int J.* 2024;16(1):1-41.

35. Hidayat H, Hidayah N, Rusmana N, Afdal, Hariko R, Tririzky R. The Effect of Using Smart Application on Critical Literacy of Engineering Education Students. *Int J Inf Educ Technol.* 2024;14(6):834-44.

36. Ou Yang FC, Lai HM, Wang YW. Effect of augmented reality-based virtual educational robotics on programming students' enjoyment of learning, computational thinking skills, and academic achievement. *Comput Educ.* 2023;195:104721. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104721>

37. Hanid MFA, Mohamad Said MNH, Yahaya N, Abdullah Z. The Elements of Computational Thinking in Learning Geometry by Using Augmented Reality Application. *Int J Interact Mob Technol.* 2022;16(2):28-41.

38. Lin PH, Chen SY. Design and Evaluation of a Deep Learning Recommendation Based Augmented Reality System for Teaching Programming and Computational Thinking. *IEEE Access.* 2020;8:45689-99.

39. Angraini LM, Noto MS, Muhammad I. Augmented Reality-Based Learning Media on Mathematical Computational Thinking Ability. *Int J Sci Math Technol Learn.* 2024;31(2):89-118.

40. Davis FD, Bagozzi RP, Warshaw PR. User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Manage Sci.* 1989;35:982-1003.

41. Davis FD, Venkatesh V. Toward preprototype user acceptance testing of new information systems: Implications for software project management. *IEEE Trans Eng Manag.* 2004;51(1):31-46.

42. Ling UL, Saibin TC, Labadin J, Aziz NA. Preliminary investigation: Teachers' perception on computational thinking concepts. *J Telecommun Electron Comput Eng.* 2017;9(2-9):23-9.

43. Thamrin, Giatman, Anwar M, Budayawan K, Faiza D, Kamarudin ND, et al. Fostering Critical Thinking

Skills through Augmented Reality: Insights from Higher Education Engineering Students. *Int J Inf Educ Technol.* 2025;15(6):1122-33.

44. Tubaishat A. Perceived usefulness and perceived ease of use of electronic health records among nurses: Application of Technology Acceptance Model. *Informatics Heal Soc Care.* 2018;43(4):379-89.

45. Alassafi MO. E-learning intention material using TAM: A case study. *Mater Today Proc.* 2022;61:873-7.

46. Ganefri, Kamdi W, Makky M, Hidayat H, Rahmawati Y. Entrepreneurship Education and Entrepreneurial Intention among University Students: The Roles of Entrepreneurial Mindset, Digital Literacy, and Self-Efficacy. *J Soc Stud Educ Res.* 2019;10(3):364-86. <https://www.learntechlib.org/p/224778/>

FINANCIACIÓN

Esta investigación fue financiada por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, a través de la Dirección General de Investigación y Desarrollo, Dirección de Investigación y Servicio Comunitario bajo el contrato número 088/C3/DT.05.00/PL/2025 y contrato derivado número: 2902/UN35.15/LT/2025.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Fitrika Kumala Dewi, Hendra Hidayat.

Curación de datos: Hendra Hidayat, Ernawati.

Análisis formal: Hansi Effendi.

Investigación: Fitrika Kumala Dewi, Ernawati.

Metodología: Hendra Hidayat.

Administración del proyecto: Hansi Effendi.

Recursos: Hendra Hidayat.

Software: Fitrika Kumala Dewi.

Supervisión: Hendra Hidayat, Hansi Effendi, Ernawati.

Validación: Ernawati.

Visualización: Fitrika Kumala Dewi.

Redacción - borrador original: Fitrika Kumala Dewi.

Redacción - revisión y edición: Fitrika Kumala Dewi, Hendra Hidayat.