

The Impact of Immersive Technologies and the Metaverse on Engineering Education: A Systematic Review

Sauna-Aguilar, Brayan¹; Vega-Solis, Edwin¹; Díaz-Matienzo, Nayeli¹; Mendoza-Vasquez, Ari¹; Paico-Egúsquiza, Ayle¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, bsauna@utp.edu.pe, u22212351@utp.edu.pe, u22100182@utp.edu.pe, u22211785@utp.edu.pe, u22210934@utp.edu.pe

Abstract– The growing development of digital transformation in the educational context has driven the incorporation of immersive technologies and the Metaverse into engineering education, with the aim of enhancing technical and professional skills and competencies in virtual reality and augmented reality environments. This study offers a Systematic Literature Review (SLR) guided by the PRISMA 2020 method, with the aim of examining the impact of these technologies on the teaching-learning process in higher education. Fifty-four studies published between 2020 and 2025 in the Scopus academic database were reviewed. The results reflect the positive impact of immersive technologies in engineering, as they enable the visualization of complex processes, the simulation of industrial environments, the practice of critical tasks without risk of accidents, and the personalization of learning. However, the incorporation of technological equipment, digital representations of real systems, hardware, and enhanced network infrastructure is necessary to achieve this. This review highlights the importance of adopting these technologies to improve learning in engineering, along with a more accurate measurement of the effectiveness of the Metaverse in higher education. However, it also highlights the presence of implementation barriers due to high costs and literature gaps in the actual measurement of the impact of these technologies on educational development. In view of this, strategic areas for future research in this field are suggested.

Keywords– virtual reality, Metaverse, immersive technologies, education.

El Impacto de las Tecnologías Inmersivas y el Metaverso en la Enseñanza de la Ingeniería: Una Revisión Sistemática

Sauna-Aguilar, Brayan¹ ; Vega-Solis, Edwin¹ ; Díaz-Matienzo, Nayeli¹ ; Mendoza-Vasquez, Ari¹ ; Paico-Egúsquiza, Ayle¹ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, bsauna@utp.edu.pe, u22212351@utp.edu.pe, u22100182@utp.edu.pe, u22211785@utp.edu.pe, u22210934@utp.edu.pe

Resumen— El creciente desarrollo de la transformación digital en el contexto educativo ha impulsado la incorporación de tecnologías inmersivas y Metaverso en la enseñanza de la ingeniería, con el objetivo de potenciar habilidades y competencias técnicas y profesionales en entornos de realidad virtual y realidad aumentada. Este estudio ofrece una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) guiada por el método PRISMA 2020, con la finalidad de examinar el impacto de dichas tecnologías en el proceso de enseñanza-aprendizaje en educación superior. Se revisaron 54 estudios publicados entre 2020 y 2025 en la base de datos académica Scopus. Los resultados reflejan el impacto positivo de las tecnológicas inmersivas en la ingeniería, debido a que proporciona la visualización de procesos complejos, la simulación de entornos industriales, practicar tareas críticas sin riesgo de accidentes y la personalización del aprendizaje, siendo necesario la incorporación de equipamiento tecnológico, representaciones digitales de sistemas reales, hardware e infraestructura de red potenciada para lograrlo. Esta revisión destaca la relevancia de adoptar estas tecnologías para mejorar el aprendizaje en ingeniería, junto con una medición más precisa de la efectividad del Metaverso en la educación superior, no obstante, destaca la presencia de barreras de implementación por los elevados costos y brechas literarias en la medición real del impacto de estas tecnologías en el desarrollo educativo. Ante ello, se sugiere áreas estratégicas para futuras investigaciones en este campo.

Palabras clave— realidad virtual, Metaverso, tecnológicas inmersivas, educación.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Industria 4.0, las instituciones de educación superior enfrentan el desafío de consolidar modelos pedagógicos capaces de responder a entornos inteligentes y a procesos acelerados de transformación digital [1]. Esta evolución no solo busca mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, sino también preparar a los futuros profesionales para un mercado laboral cada vez más influenciado por tecnologías emergentes [2]. En este escenario, las tecnologías inmersivas como la Realidad Virtual (RV), la Realidad Aumentada (RA) y el Metaverso han comenzado a posicionarse como herramientas con alto potencial para visualizar fenómenos complejos y optimizar recursos en entornos formativos [3].

Para que esta incorporación sea efectiva, el currículo de ingeniería requiere una infraestructura que articule hardware especializado que comprenda en visores de realidad virtual y

dispositivos hápticos con plataformas de software adaptables [4]. Más allá del equipamiento tecnológico, resulta fundamental un diseño instruccional coherente que vincule fundamentos pedagógicos con experiencias inmersivas significativas [5]. En este sentido, los laboratorios virtuales se han convertido en una de las principales estrategias de implementación, ya que permiten simular procesos industriales complejos sin los riesgos asociados a un entorno físico [6]. No obstante, la escalabilidad de estas soluciones depende de factores como la interoperabilidad, la facilidad de uso y la capacidad institucional para sostener su adopción a largo plazo [7].

Cabe destacar que las aplicaciones de las tecnologías inmersivas en la ingeniería permiten la creación de entornos de aprendizaje interactivos que superan las limitaciones de los métodos tradicionales, facilitando la visualización de conceptos abstractos y procesos complejos. Por ejemplo, en la ingeniería médica y la robótica, estas herramientas se utilizan para el diseño y la simulación de procedimientos de rehabilitación, permitiendo a los estudiantes interactuar con sistemas inteligentes y robots asistenciales en espacios virtuales controlados [8]. Además, el uso de la Realidad Virtual y Aumentada se extiende a la capacitación en el manejo de maquinaria pesada y la simulación de procesos de mantenimiento industrial, donde los estudiantes pueden practicar tareas críticas sin riesgo de accidentes o daños materiales [9]. Asimismo, la integración de estas tecnologías con la inteligencia artificial permite el desarrollo de sistemas de tutoría personalizados que se adaptan al ritmo de aprendizaje de cada alumno, optimizando la adquisición de competencias técnicas en el diseño y la arquitectura de sistemas [10].

Sin embargo, pese a su potencial, la adopción de estas tecnologías enfrenta limitaciones importantes. Entre ellas destacan los costos asociados al hardware, la necesidad de infraestructura de red adecuada y la brecha en la formación docente para diseñar experiencias inmersivas pedagógicamente sólidas. También se han reportado efectos como fatiga visual o mareo cinético, así como preocupaciones relacionadas con la privacidad y la protección de datos, lo que plantea desafíos éticos y normativos que aún no han sido completamente abordados [11], [12].

A pesar del creciente interés académico, persiste una brecha en la literatura respecto a cómo medir el impacto real de estas tecnologías en el desarrollo de competencias en ingeniería. Existe una falta de marcos metodológicos estandarizados para evaluar la eficacia del aprendizaje en el Metaverso frente a métodos tradicionales, lo que dificulta validar resultados a mayor escala [13]. Asimismo, la investigación actual se ha centrado mayoritariamente en la usabilidad técnica y la satisfacción del estudiante, dejando de lado el análisis profundo sobre cómo el diseño de la interfaz y la carga cognitiva afectan la retención de conocimientos a largo plazo [14]. Por último, existe un vacío crítico respecto a la escalabilidad de estas soluciones en contextos educativos diversos, pues se requiere evidencia empírica que documente modelos de implementación sostenibles en donde se consideren tanto la formación continua del docente como la equidad en el acceso tecnológico para los estudiantes [15].

Dado este panorama de incertidumbre, se hizo necesario desarrollar una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) conforme a los criterios establecidos por PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el objetivo de profundizar en la comprensión del Impacto de las Tecnologías Inmersivas y el Metaverso en la Enseñanza de la Ingeniería. Para ello, se recopilaron y examinaron estudios científicos publicados entre 2021 y 2025, lo que permitió construir un análisis crítico y actualizado del estado del arte en este campo. A partir de esta revisión, se plantean las siguientes preguntas clave de investigación:

¿De qué manera las tecnologías inmersivas, como la Realidad Virtual, la Realidad Aumentada y el Metaverso, han impactado el desarrollo de competencias técnicas y profesionales en estudiantes de ingeniería?, ¿Qué herramientas tecnológicas y enfoques metodológicos se emplean con mayor frecuencia para evaluar la efectividad del aprendizaje en entornos inmersivos?, ¿Qué tendencias geográficas y académicas caracterizan la producción científica reciente sobre el uso del Metaverso y tecnologías inmersivas en la educación en ingeniería, y a qué factores puede atribuirse su predominancia.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo basado en una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), desarrollada conforme a los lineamientos del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Declarado inicialmente en 2009 y actualizado en 2020, este protocolo establece directrices orientadas a fortalecer la transparencia, consistencia y claridad en el reporte de revisiones sistemáticas [16], [17].

En el marco del presente estudio, su aplicación permitió organizar de manera estructurada las fases de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los artículos analizados, garantizando que el proceso de selección se desarrollara bajo criterios previamente definidos [18]. De esta forma, se redujo

la posibilidad de sesgos metodológicos y se aseguró la trazabilidad del procedimiento adoptado [19].

Por otra parte, la actualización de 2020 incorporó mejoras en la formulación de los ítems y en la claridad de los procesos de síntesis de evidencia, lo que amplía su aplicabilidad en diversos campos disciplinares [20]. Asimismo, las ampliaciones metodológicas derivadas de este estándar han contribuido a consolidar prácticas más rigurosas en la conducción de revisiones sistemáticas y metaanálisis [21], [22].

En consecuencia, la adopción de este marco metodológico permitió desarrollar la revisión bajo un procedimiento sistemático y reproducible, asegurando que el análisis de la literatura sobre tecnologías inmersivas y Metaverso en la enseñanza de la ingeniería se realizara con criterios explícitos y verificables [23].

A. Procedimiento de Búsqueda

Con la finalidad de identificar artículos que guarden relación con el impacto de las tecnologías inmersivas y el metaverso en la enseñanza de la ingeniería, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura en la base de datos Scopus. Este proceso permitió analizar los antecedentes y recopilar información científica que respalde el análisis sobre la incorporación de entornos virtuales, realidad aumentada y realidad virtual en los procesos formativos de ingeniería. La estrategia de búsqueda se diseñó de manera estructurada, utilizando descriptores asociados a tecnologías inmersivas, metaverso y educación en ingeniería en los títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos, esto se observa en la Fig. 1.

Article title, Abstract, Keywords for Searching:
 ("virtual reality" OR "augmented reality" OR
 metaverse OR "immersive technology") AND
 ("engineering education" OR "engineering learning"
 OR "STEM education" OR "technical education")
 AND ("higher education" OR university)

Fig. 1 Cadena de búsqueda.

Como resultado de la búsqueda en la base de datos, se identificaron 1,598 documentos relacionados con el impacto de las tecnologías inmersivas y el metaverso en la enseñanza de la ingeniería. Los registros obtenidos fueron sometidos a un proceso de depuración basado en criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, garantizando la relevancia, actualidad y coherencia temática de los estudios seleccionados para esta revisión sistemática, lo anteriormente mencionado se pueden apreciar en la Tabla 1.

TABLA I
 Normas de inclusión y exclusión y su respectiva de explicación

C1	Estudios publicados dentro del periodo 2020 y 2025
C2	Documentos identificados como artículos originales
C3	Manuscritos elaborados y presentados en idioma inglés
C4	Artículos accesibles bajo la modalidad "Open Access"

B. Enfoque PRISMA

En la fase inicial, se descartaron diversos documentos tras revisar sus títulos y resúmenes, lo que permitió acotar la muestra a 1512 registros. Luego, se efectuó una revisión exhaustiva de los textos completos para comprobar su conformidad con los criterios establecidos en la Tabla I y se consolidó una selección final de 54 artículos. Este procedimiento se encuentra representado en el diagrama de flujo de la Fig. 2.

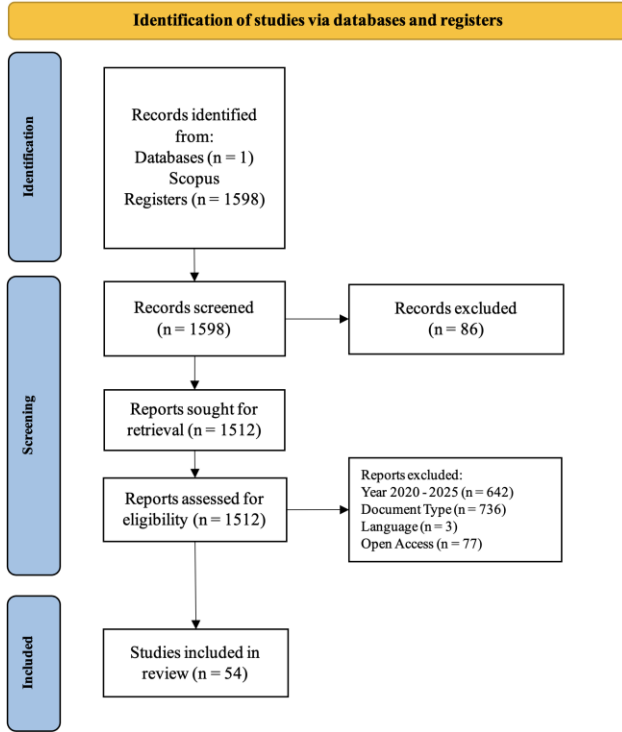


Fig. 2 Esquema de proceso de acuerdo con la metodología PRISMA.

La Tabla II presenta la base de datos Scopus y la estrategia de búsqueda final empleada en la investigación. Su inclusión responde a criterios de rigor y trazabilidad metodológica, permitiendo que otros investigadores puedan reproducir el procedimiento o ampliar el análisis sobre el impacto de las tecnologías inmersivas y el metaverso en la enseñanza de la ingeniería como línea emergente de innovación educativa.

TABLA II
Cadena de Búsqueda Final

Bases de Datos	Cadena final
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("virtual reality" OR "augmented reality" OR metaverse OR "immersive technology") AND TITLE-ABS-KEY ("engineering education" OR "engineering learning" OR "STEM education" OR "technical education") AND TITLE-ABS-KEY ("higher education" OR university)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish")) AND (LIMIT-TO (OA , "all"))

III. RESULTADOS

A. Descubrimientos bibliométricos

La Fig. 3 indica la producción científica del periodo 2020 a 2025, siendo el año 2024 con mayor índice de producción con 19 artículos, lo que representa el 35%, seguido del año 2022 con 11 documentos, siendo el 20% del total.

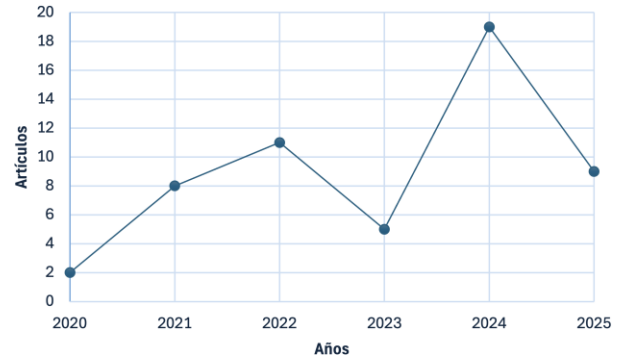


Fig. 3 Producción científica anual entre el periodo 2020-2025.

En la Fig. 4 se presentan los países con mayor incidencia en las investigaciones analizadas, donde la intensidad del color del mapa representa el nivel de participación en publicaciones conjuntas. En este contexto, sobresale China como el principal nodo de colaboración, estableciendo vínculos con Indonesia, Kazajistán, Kirguistán y Nueva Zelanda, entre otros, mientras que el Reino Unido también evidencia una participación significativa articulando conexiones con países europeos y asiáticos. Por otro lado, se identifican asociaciones bilaterales, todas con una frecuencia de una publicación conjunta, como Chile con España, Italia con Rumanía y Hungría, así como Brasil con Suecia, además de conexiones interregionales que involucran a Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita, Perú y Estados Unidos, lo que evidencia una red de cooperación científica global, aunque caracterizada por colaboraciones puntuales.

Country Collaboration Map

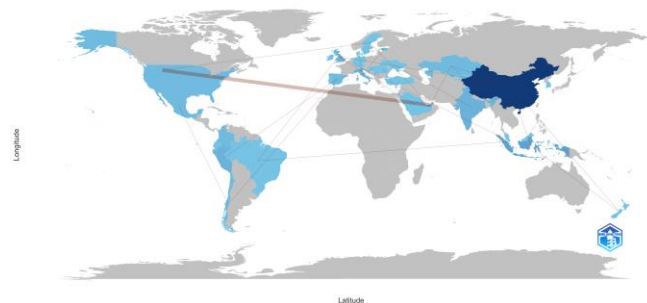
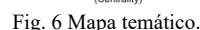


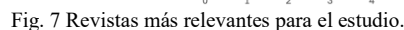
Fig. 4 Colaboración internacional entre países.

La Fig. 5 presenta una red de palabras clave que visualiza la estructura temática y su evolución temporal, donde "engineering education" se posiciona como el nodo central de mayor tamaño, evidenciando su alta frecuencia y consolidación en el periodo analizado. Este término se articula

especializados y técnicamente desarrollados, aunque todavía no plenamente integrados en el eje central del campo investigativo.



La Fig. 6 muestra la estructura conceptual del campo de estudio a partir del grado de centralidad (relevancia) y densidad (desarrollo). En el cuadrante de temas motores se ubican “virtual reality”, “engineering education” y “higher education”, los cuales presentan alta centralidad y densidad, configurándose como el núcleo articulador de la investigación y evidenciando un campo consolidado y estratégicamente posicionado dentro de la educación en ingeniería. En los temas básicos se identifican “augmented reality”, “education” y “e-learning”, caracterizados por alta centralidad, pero menor densidad, lo que indica que son fundamentales para la estructura del dominio, aunque aún requieren mayor profundización teórica y metodológica. En el cuadrante de temas emergentes o en declive aparece “mobile application”, con baja centralidad y densidad, sugiriendo una línea con desarrollo limitado o aún en proceso de consolidación. Finalmente, en los temas nicho se sitúan “immersive technologies” y “virtual reality (VR)”, que presentan alta densidad, pero menor centralidad, lo que refleja enfoques



24th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering without Borders: Artificial Intelligence, Knowledge, Innovation, and Alliances for a Future from the Americas”. Hybrid Event, Santiago-Chile, July 15 - 17, 2026

Unidos combinan producción nacional e internacional. Finalmente, Chile, Croacia y Estonia muestran una participación menor con 1 documento cada uno, predominando en la mayoría de estos casos la modalidad de publicación sin colaboración internacional, lo que evidencia que, aunque existe cooperación entre países, la producción sigue concentrándose principalmente en dinámicas nacionales.

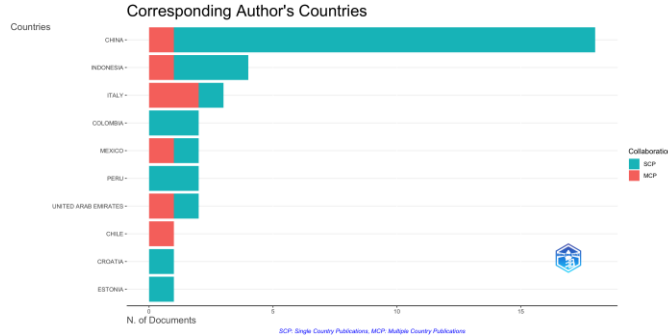


Fig. 8 Distribución de publicaciones científicas por país.

La Fig. 9 presenta las palabras clave más frecuentes del campo analizado, donde el predominio de “virtual reality” y “augmented reality” evidencia que las tecnologías inmersivas constituyen el eje central de la investigación. Este núcleo temático se ve reforzado por la alta recurrencia de “engineering education”, “higher education”, “education” y “virtual reality technology”, lo que confirma que la aplicación de estas tecnologías se concentra principalmente en el ámbito formativo de la educación superior en ingeniería. Asimismo, términos como “digital transformation”, “educational innovation”, “e-learning” y “STEM education” reflejan una orientación hacia la modernización pedagógica y la integración de entornos digitales en los procesos de enseñanza-aprendizaje. En un nivel complementario, aparecen conceptos más específicos como “serious game”, “game-based learning”, “mobile application”, “virtual laboratory” y “immersive technologies”, los cuales, aunque con menor frecuencia, evidencian líneas emergentes y enfoques aplicados que amplían el espectro de implementación de la realidad virtual y aumentada en contextos educativos especializados.

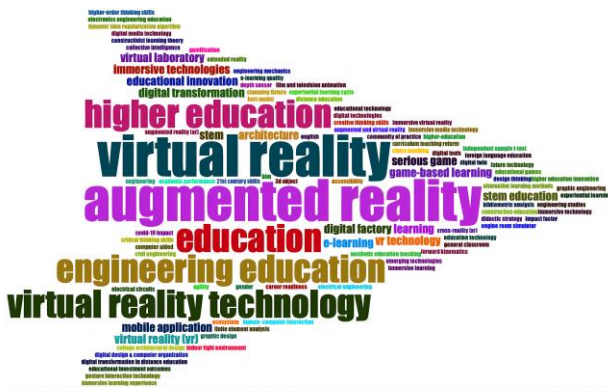


Fig. 9 Visualización de las palabras clave más utilizadas.

B. Descubrimiento del contenido

La revisión sistemática presenta a la herramienta correlativa Co-Cronbach como la más influyente para el análisis estadístico. De los 18 artículos analizados, su importancia radica en la evaluación de la confiabilidad y consistencia interna de los instrumentos de medición aplicados en los diversos estudios [24], [25], principalmente cuestionarios de percepción y experiencia de aprendizaje [26]. Los valores superiores a 0.80 garantizan que los datos recolectados sean estadísticamente confiables y exista alta correlación entre variables [27], como en [28], que obtuvo coeficientes $\alpha = 0.93$, 0.94 y 0.84 en sus escalas tipo Likert, lo que indica alta consistencia y solidez psicométrica en la medición de percepciones sobre la realidad virtual. Al igual que [29] con un valor de $\alpha = 0.928$ para evaluar los efectos educativos del entorno virtual, y [30] quien obtuvo un valor superior a 0.8, que asegura que los ítems del instrumento miden consistentemente las percepciones sobre el uso de tecnologías inmersivas.

Por su parte, el SPSS es aplicado para el procesamiento estadístico de datos cuantitativos, incluyendo análisis factorial, confiabilidad [28], [31], el cálculo del Alfa de Cronbach, medias, varianzas [32], desviaciones y errores estándar, pruebas de significancia [33], pruebas de normalidad, contrastes de hipótesis y cálculo de tamaños de efecto [34]. Lo que asegura la precisión, confiabilidad y rigor en la interpretación de los efectos de la Realidad Aumentada en el aprendizaje [35], cuantifica el impacto de la intervención con tecnologías inmersivas [36] e interpreta sus efectos sobre el proceso educativo [37].

Asimismo, la herramienta de ingeniería Unity 3D resultó crucial en el diseño, integración y ejecución de un entorno de realidad virtual interactivo, para la construcción del metaverso educativo [38], [39]. Para ello, integró contenidos multimedia, activadores de realidad aumentada [32], escenarios 3D, control de interacción y evaluación del desempeño del usuario en tiempo real dentro del entorno inmersivo [40]. Con la finalidad de posibilitar la navegación inmersiva [41], viabilizar simulaciones realistas y entornos inmersivos controlados para la enseñanza de cinemática, ensamblaje industrial [42] y habilitar un ecosistema técnico que sustente la experiencia educativa basada en metaverso [43].

Cabe mencionar que la herramienta ANOVA permite identificar y contrastar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre los métodos de enseñanza tradicionales, móviles e inmersivos [33], [44], [45]. De manera que, se logre evaluar el efecto del método de enseñanza (VR vs. tradicional), comparar el tiempo de medición (pretest–posttest) [34], [46], analizar el efecto del uso de tecnologías inmersivas sobre variables como interés, desempeño y desarrollo formativo [47] e identificar las ganancias de habilidades espaciales atribuibles al entrenamiento con realidad aumentada [48].

Por otro lado, se utilizó la herramienta de Encuesta Likert para recoger la percepción de los estudiantes sobre la aceptación, utilidad, efectividad pedagógica de la herramienta

de realidad aumentada [32] y la experiencia del estudiante con VR-STEAM [39]. Cuyo objetivo es cuantificar actitudes, aceptación tecnológica, percepción del impacto educativo [49], el nivel de calidad pedagógica, usabilidad y beneficios del aprendizaje con la realidad virtual y la enseñanza online [50], [51].

Adicionalmente, se aplicó la herramienta T-Student en 10 estudios, para muestras independientes con el fin de comparar el desempeño académico entre el grupo experimental y el grupo de control [52] antes y después de la intervención con tecnologías inmersivas [29], [53], para identificar diferencias significativas e impacto real en el rendimiento académico e intervención de las tecnologías inmersivas [27], [40]. A su vez, la herramienta Co-Pearson busca identificar la relación lineal entre el efecto de aprendizaje bajo realidad virtual y variables como el entorno inmersivo (inmersión sensorial, realismo, reconocimiento tecnológico) [24], [49], [54].

Es importante resaltar el impacto real de la realidad aumentada sobre la actitud y la intención de uso en estudiantes de ingeniería [55], la cual es reflejada mediante la herramienta Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), que modela y analiza las relaciones estructurales entre STEAM, realidad virtual, aprendizaje en ingeniería y respuesta estudiantil [39]. En complemento a ello, la herramienta SmartPLS ejecuta el análisis PLS-SEM para validar el modelo de medición y estructural [39], asegurando rigor estadístico en los modelos del estudio [44].

Finalmente, la herramienta Meta Quest 2 proporciona una experiencia intuitiva y sin controladores físicos, la cual mejora la interacción natural con los sistemas virtuales y la experiencia del usuario [42]. Siendo complementada por la herramienta Metaverse Intensive Learning Experience (MiLEx), que integra tecnología, pedagogía y analítica en un solo ecosistema para experiencias inmersivas orientadas a la formación en ingeniería [56].

TABLA III
Herramientas recopiladas en la revisión sistemática sobre el metaverso en la enseñanza para ingeniería

Herramientas	Nº de estudios
Co-Cronbach	18
SPSS	16
Unity 3D	16
ANOVA	12
Encuesta Likert	11
T-Student	10
Co-Pearson	7
Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)	4
SmartPLS	4
Meta Quest 2	2
Metaverse Intensive Learning Experience (MiLEx)	1
Otras herramientas	24
Total	125

En este contexto, se identificaron ejes temáticos vinculados con el impacto de las tecnologías inmersivas y el metaverso en la formación en ingeniería, los cuales se

sintetizan en la Tabla IV. A partir de ello, se desarrolló un análisis sistemático orientado a examinar la consistencia empírica, magnitud del efecto y convergencia de resultados reportados en la literatura.

En primer lugar, se analizaron 28 estudios centrados en logros de aprendizaje y comprensión conceptual, de los cuales 12 fueron destacados por evidenciar una optimización significativa del proceso general de aprendizaje. Los entornos inmersivos favorecen el desarrollo de competencias prácticas mediante la interacción con objetos digitales y la resolución de problemas simulados, fortaleciendo la transferencia entre teoría y aplicación profesional [56]. En circuitos eléctricos, el 94% valoró positivamente la experiencia inmersiva, 82% confirmó mayor claridad conceptual y el 100% reconoció el aporte de la VR en el aprendizaje de circuitos DC [38]. De manera consistente, el 65.5% de estudiantes con alta facilidad de uso percibida reportó mayores niveles de comprensión y aprendizaje activo en ingeniería marítima [25].

Desde la perspectiva del desempeño, se observaron niveles elevados de eficiencia técnica (99.1% de precisión y 99.6% de recepción en competencias), incremento del 45% en interés y cumplimiento de objetivos superior al 95% [45]. Estos resultados convergen con el desarrollo de competencias analíticas en el CAP test (79%) [57], mejoras significativas en desempeño práctico frente a grupos tradicionales [52], [53], así como reducción del tiempo de ejecución y mayor satisfacción en entornos XR [42], [58]. Incluso en aplicaciones técnicas específicas, como simulación lumínica y modelado algorítmico, se reportaron niveles de precisión superiores al 87% y aumentos cercanos al 29% en aprendizaje activo [37], [40], [59], lo que confirma la robustez transversal de los resultados.

De forma adicional, los estudios restantes confirman la mejora en la comprensión conceptual y teórica, mostrando un incremento promedio de 40% en el grupo VR frente a 27% en el grupo control, lo que evidencia mayor ganancia cognitiva y compromiso estudiantil [43]. Asimismo, 56.39% afirmó que la VR mejora el aprendizaje y 66.17% que incrementa el interés, especialmente en ciencia e ingeniería, donde la inmersión influye positivamente en el aprendizaje percibido [49]. Adicionalmente, se reportan incrementos superiores al 20% al integrar AR, VR y 5G [60], y un R^2 del 86.2% confirma que VR-STEAM explica gran parte de la motivación y el conocimiento [39]. Esta efectividad responde a una brecha de 25.11 puntos entre aprendizaje real y esperado, con más del 80% demandando estas tecnologías y alta validez experta (Aiken's $V = 0.933$), evidenciándose mejoras significativas frente al enfoque tradicional [47], [61].

En coherencia con estos resultados, el 73,4% indicó que la VR facilita el entendimiento de contenidos complejos y abstractos [30], reforzado por la reproducción del 100% de análisis técnicos en entornos inmersivos [62]. El grupo experimental logró un incremento del 86% en comprensión frente a 38% del control ($p < 0.001$) y mayores avances en rendimiento académico (14,3 vs. 4,5 puntos) [34], [35]. Entre 60% y 80% de los estudios reportan mejoras superiores al

20% en asignaturas técnicas [26], con valoraciones positivas mayores al 80% [63], [64], tasas de acierto de 93.8% frente a 80.4% [36], validaciones superiores al 87 % [50] y una mejora promedio global de 24.8% [65], lo que consolida empíricamente su impacto en la comprensión teórica en ingeniería.

En segundo lugar, 13 estudios abordaron actitud, motivación y aceptación tecnológica, destacando 8 por su elevada intención de uso futuro. La actitud hacia la tecnología emergió como predictor central de adopción ($R^2 = 0.570$), determinada principalmente por la utilidad percibida [55]. Se reportaron altos niveles de satisfacción (4.14/5), efecto del aprendizaje (4.07/5) e intención de continuidad ($>71\%$) [24]. Factores como Expectativa de Desempeño y Motivación Hedónica explicaron más del 50% de la intención de uso [66], mientras que la preferencia por VR superó el 96% frente a métodos tradicionales [67]. La evidencia adicional confirma mayor satisfacción asociada a presencia inmersiva [68], [69], impacto en decisiones vocacionales STEM [70] y mejoras académicas estadísticamente significativas [27].

Más allá del rendimiento, los estudios demuestran un efecto consistente sobre la motivación académica. Los grupos experimentales alcanzaron promedios de hasta 92.4% frente a 76.35% del control [31], con incrementos adicionales de 8.25% y hasta 11.2 puntos porcentuales [33], [71]. En términos agregados, se registran aumentos del 20% al 35% en desempeño y del 30% al 45% en motivación y participación [72], acompañados por altos niveles de interés e interacción ($>85\%$) [73]. Estos resultados evidencian una relación estructural consistente entre inmersión, compromiso cognitivo y mejora sostenida del rendimiento académico.

Por último, de los 13 estudios analizados sobre el desarrollo de habilidades y competencias, 3 destacaron por evidenciar que las tecnologías inmersivas fomentan el pensamiento crítico como competencia clave. Este mostró el efecto directo más fuerte sobre el desempeño académico y actuó como mediador de la creatividad y la resolución de problemas [44]. En coherencia, el grupo experimental elevó su promedio de 85 a 90 puntos ($\approx 5.9\%$), superando al control ($\approx 3.5\%$), mientras más del 70% reportó mayor motivación y menor dificultad cognitiva [54]. Además, alrededor del 66% consideró el sistema fácil de usar y el 72.8% valoró positivamente la gestión del aprendizaje [51].

También potencia la capacidad de análisis y diseño, lo cual se evidenció en mejoras sistemáticas entre el pretest (T0) y el postest (T1), con incrementos del 20% al 35% en las competencias evaluadas, especialmente en comprensión sistémica, análisis de KPIs y diseño de configuraciones industriales [74]. En la misma línea, más del 90% de los estudiantes afirmó que la VR facilitó la comprensión de vectores tridimensionales y la visualización de ángulos y componentes, generando mayores ganancias en tareas visuales; además, más del 80% manifestó intención de reutilizar estas herramientas en futuros cursos [28].

Finalmente, las evidencias confirman que las tecnologías inmersivas desarrollan habilidades duras vinculadas al

desempeño técnico y profesional. Desde la perspectiva industrial, el 100% de los talleres priorizó el fortalecimiento de competencias prácticas, comunicación y resolución de problemas mediante simulaciones AR/VR [75], mientras que estudios experimentales reportan mejoras significativas frente al grupo control y avances en presencia, utilidad y desarrollo cognitivo [29]. En entornos VR-BIM, el grupo experimental superó ampliamente al tradicional (16.10 vs. 12.91), con altos niveles de valoración en visualización 3D y reducción de errores [41]. Asimismo, el entrenamiento con RA y VR generó incrementos de hasta 49 % en visualización espacial y alrededor de 40 % en rotación mental [48], [76], junto con mayor precisión operativa y autonomía en tareas complejas [32].

De manera complementaria, el 100 % participó activamente en el diseño de materiales y el 65 % prefirió estrategias con RA frente a métodos tradicionales [46], mientras más del 70 % reportó mejoras en competencias digitales y simulación [77]. En síntesis, la evidencia acumulada demuestra de manera consistente que la integración sistemática de entornos inmersivos no solo optimiza el aprendizaje, sino que consolida competencias técnicas, analíticas y profesionales estratégicamente alineadas con las demandas cognitivas, tecnológicas y productivas de la ingeniería contemporánea.

TABLA IV
Efectos recopilados en la revisión sistemática sobre el metaverso en la enseñanza para ingeniería

Aspectos y efectos encontrados	N° de estudios
Logros de Aprendizaje y Compresión	28
Mejora la comprensión conceptual y teórica	16
Optimiza el proceso general de aprendizaje	12
Actitud, Motivación y Aceptación Tecnológica	13
Genera aceptación e intención de uso futuro	8
Incrementa la motivación académica	5
Desarrollo de Habilidades y Competencias	13
Desarrolla habilidades duras	8
Fomenta el pensamiento crítico	3
Potencia la capacidad de análisis y diseño	2
Total	54

IV. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio evidencian que la necesidad de integrar modelos pedagógicos inteligentes en un entorno laboral tecnológicamente competitivo [2] es reforzada por la alta eficacia de los laboratorios virtuales, con más del 80% de valoraciones positivas, siendo una alternativa superior para la formación técnica en comparación con los métodos convencionales [63]. Mientras que, la literatura menciona que el Metaverso, Realidad Virtual y Aumentada facilita la simulación de conceptos abstractos en industrias mecánicas, robótica [8], [9] y de aprendizaje [10]; los hallazgos en la práctica afirman que dichas tecnologías transfieren conocimientos hacia la práctica industrial con 99.1% de precisión y 99.6% de recepción en competencias [45]. Adicionalmente, la comprensión de sistemas, análisis de KPIs

y mejora en las configuraciones industriales incrementa un 35% el potenciamiento de capacidades de análisis y diseño [74].

No obstante, se mantiene la discrepancia entre la expectativa de una adopción fluida y las barreras estructurales identificadas en la ejecución. Mientras que, la teoría muestra el diseño de sistemas inteligentes para la enseñanza [76], la realidad de los resultados revela que la sostenibilidad de estos modelos se ve amenazada por limitaciones de infraestructura y la necesidad de una formación docente especializada que aún no es universal [4]. A pesar de la preferencia en un 96% por VR frente a metodologías tradicionales [67], es fundamental mencionar la carencia de marcos metodológicos estandarizados para evaluar el impacto real a largo plazo [7].

V. CONCLUSIONES

La incorporación de tecnologías inmersivas en la educación en ingeniería ha demostrado una incidencia positiva en el desarrollo de competencias técnicas y profesionales en los estudiantes. En este sentido, la revisión sistemática confirma que herramientas como la realidad virtual, realidad aumentada y el metaverso potencian la adquisición de habilidades aplicadas mediante la simulación de escenarios complejos y la interacción en ambientes de alta fidelidad. Estas tecnologías fortalecieron la toma de decisiones, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo, además de incrementar la motivación y reducir riesgos asociados a prácticas físicas, consolidándose como catalizadores del aprendizaje.

En relación con la evaluación del aprendizaje en entornos inmersivos, predomina el uso de diseños cuasi-experimentales con esquemas pretest-postest y grupos de control, junto con la aplicación recurrente del Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) y del Modelo Unificado de Aceptación y Uso de la Tecnología (UTAUT) para analizar la percepción de utilidad e intención de uso. Complementariamente, se emplearon rúbricas analíticas de aprendizaje, de desempeño, y escalas de usabilidad como el System Usability Scale (SUS), apoyadas en análisis estadísticos multivariados para examinar relaciones entre variables pedagógicas y resultados académicos. No obstante, la heterogeneidad metodológica y la limitada presencia de estudios longitudinales evidencian la necesidad de marcos evaluativos más estandarizados que permitan fortalecer la validez externa y la comparabilidad de los hallazgos.

Finalmente, la producción científica reciente muestra una concentración en países con alta inversión en I+D y políticas de digitalización educativa, particularmente en Asia, Europa y Norteamérica. Esta predominancia responde a infraestructura tecnológica consolidada, colaboración academia-industria y agendas estratégicas orientadas a la transformación digital. Sin embargo, la limitada participación de regiones emergentes evidencia brechas estructurales que abren oportunidades para estudios comparativos, longitudinales y contextualizados que

amplíen la comprensión del potencial del Metaverso y las tecnologías inmersivas en la educación en ingeniería.

REFERENCIAS

- [1] O. Chamorro-Atalaya, C. Flores-Velásquez, R. Flores-Cáceres, J. Arévalo-Tuesta, M. Zevallos-Castañeda, G. Tomás-Quispe, C. Aranda-Dextre, Y. Cruz-Telada, J. Caller-Luna, and R. Alarcón-Anco, "Use of Digital Twin Technology in the Teaching-Learning Process, in the field of University Education: A Bibliometric Review," *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, vol. 23, no. 2, pp. 313–329, February 2024.
- [2] I. Ahmad, S. Sharma, R. Singh, A. Gehlot, L. Gupta, A. Thakur, N. Priyadarshi, and B. Twala, "Inclusive learning using industry 4.0 technologies: addressing student diversity in modern education," *Cogent Education*, vol. 11, no. 1, pp. 1–19, March 2024.
- [3] N. Giang, N. Van Dinh, P. Ngu, D. Chau, N. Thao, and T. Thao, "Applying Augmented Reality Technology in STEM Education: A Bibliometrics Analysis in Scopus Database," *European Journal of Educational Research*, vol. 14, no. 1, pp. 73–87, January 2025.
- [4] F. Sanfilippo, T. Blazauskas, G. Salvietti, I. Ramos, S. Vert, J. Radianti, T. Majchrzak, and D. Oliveira, "A Perspective Review on Integrating VR/AR with Haptics into STEM Education for Multi-Sensory Learning†," *Robotics*, vol. 11, no. 2, pp. 1–20, April 2022.
- [5] S. F. Abbas Shah, T. Mazhar, T. Shahzad, M. A. Khan, Y. Y. Ghadi, and H. Hamam, "Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories," *Social Sciences and Humanities Open*, vol. 10, pp. 1–14, November 2024.
- [6] J. Extremera, D. Vergara, S. Rodríguez, and L. Dávila, "Reality-Virtuality Technologies in the Field of Materials Science and Engineering," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 10, pp. 1–27, May 2022.
- [7] K. Takroui, E. Causton, and B. Simpson, "AR Technologies in Engineering Education: Applications, Potential, and Limitations," *Digital*, vol. 2, no. 2, pp. 171–190, June 2022.
- [8] A. Banjar, X. Xu, M. Iqbal, and A. Campbell, "A systematic review of the experimental studies on the effectiveness of mixed reality in higher education between 2017 and 2021," *Computers and Education: X Reality*, vol. 3, pp. 1–15, December 2023.
- [9] W. Wasswa and J. Ware, "A Systematic Literature Review on Virtual Reality Applications in Medical Education," *Annals of Emerging Technologies in Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 50–68, July 2025.
- [10] C. Yang, J. Zhang, Y. Hu, X. Yang, M. Chen, M. Shan, and L. Li, "The impact of virtual reality on practical skills for students in science and engineering education: a meta-analysis," *Int. J. STEM Educ.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–15, December 2024.
- [11] A. Lawson, A. Martella, K. LaBonte, C. Delgado, F. Zhao, J. Gluck, M. Munns, A. Wells, and R. Mayer, "Confounded or Controlled? A Systematic Review of Media Comparison Studies Involving Immersive Virtual Reality for STEM Education," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 36, no. 3, pp. 1–35, September 2024.
- [12] R. Obeidallah, A. Al Ahmad, and D. Qutishat, "Challenges of Extended Reality Technology in Higher Education: A Review," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 18, no. 14, pp. 39–50, May 2023.
- [13] M. AlGerafi, Y. Zhou, M. Oubibi, and T. Wijaya, "Unlocking the Potential: A Comprehensive Evaluation of Augmented Reality and Virtual Reality in Education," *Electronics (Switzerland)*, vol. 12, no. 18, pp. 1–29, September 2023.
- [14] M. Beheshti, S. Shah, H. Zhang, M. Barnett, and A. Hira, "Affordances of Technology for Sustainability-Oriented K–12 Informal Engineering Education," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 16, pp. 1–27, August 2024.
- [15] Sunardi, Meyliana, S. Hendric, and Y. Rosmansyah, "Exploring Immersive Virtual Reality in Higher Education: Research Gap and Future Direction-A Scoping Review," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 76308–76321, May 2025.
- [16] M. Page, J. McKenzie, P. Bossuyt, I. Boutron, T. Hoffmann, C. Mulrow, L. Shamseer, J. Tetzlaff, E. Aki, S. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J. Grimshaw, A. Hróbjartsson, M. Lalu, T. Li, E. Loder, E. Mayo-Wilson, S.

- McDonald, L. McGuinness, L. Stewart, J. Thomas, A. Tricco, V. Welch, P. Whiting, and D. Moher. "A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas," *Rev Panam Salud Publica*, vol. 46, pp. 1–12, January 2022.
- [17] D. Moher, L. Shamseer, M. Clarke, D. Ghersi, A. Liberati, M. Petticrew, P. Shekelle, L. Stewart, M. Estarli, E. Barrera, R. Martínez-Rodríguez, E. Baladia, S. Agüero, S. Camacho, K. Buhning, A. Herrero-López, D. Gil-González, D. Altman, A. Booth, A. Chan, S. Chang, T. Clifford, K. Dickersin, M. Egger, P. Göttsche, J. Grimshaw, T. Groves, M. Helfand, J. Higgins, T. Lasserson, J. Lau, K. Lohr, J. McGowan, C. Mulrow, M. Norton, M. Page, M. Sampson, H. Schünemann, I. Simera, W. Summerskill, J. Tetzlaff, T. Trikalinos, D. Tovey, L. Turner, and E. Whitlock, "Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement," *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, vol. 20, no. 2, pp. 148–160, January 2016.
- [18] G. Beltrán and A. Óscar, "Revisión sistemática de la literatura," *Rev. Colomb. Gastroenterol.*, vol. 20, no. 1, pp. 60–69, January 2005.
- [19] B. Chrcanovic, "Importance of Systematic Reviews in Implant Dentistry," *International Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, vol. 9, no. 2, pp. 36–37, April 2019.
- [20] A. Ciapponi, "La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para reportar revisiones sistemáticas," *Evidencia actualización en la práctica ambulatoria*, vol. 24, no. 3, pp. 1–4, August 2021.
- [21] B. Hutton, F. Catalá-López, and D. Moher, "La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA," *Med. Clin. (Barc.)*, vol. 147, no. 6, pp. 262–266, September 2016.
- [22] G. Urrutia and X. Bonfill, "Revisión sistemática: una herramienta clave para la toma de decisiones clínicas y sanitarias," *Rev. Esp. Salud Pública*, vol. 88, no. 1, pp. 1–3, January 2014.
- [23] B. Moreno, M. Muñoz, J. Cuellar, S. Domancic, and J. Villanueva, "Revisión Sistemática: definición y nociones básicas," *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, vol. 11, no. 3, pp. 184–186, December 2018.
- [24] Y. Kim and S. Ahn, "Factors influencing nursing students' immersive virtual reality media technology-based learning," *Sensors*, vol. 21, no. 23, pp. 1–12, December 2021.
- [25] D. Bačnar, D. Barić, and D. Ogrizović, "Exploring the Perceived Ease of Use of an Immersive VR Engine Room Simulator among Maritime Students: A Segmentation Approach," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 14, no. 18, pp. 1–16, September 2024.
- [26] M. Soliman, A. Pesyridis, D. Dalaymani-Zad, M. Gronfula, and M. Kourmpetis, "The application of virtual reality in engineering education," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 6, pp. 1–14, March 2021.
- [27] R. Wang, J. Li, W. Shi, and X. Li, "Application of Artificial Intelligence Techniques in Operating Mode of Professors' Academic Governance in American Research Universities," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, pp. 1–7, November 2021.
- [28] Campos, I. Hidrogo, and G. Zavala, "Impact of virtual reality use on the teaching and learning of vectors," *Front. Educ. (Lausanne)*, vol. 7, pp. 1–15, September 2022.
- [29] K. Dai, H. Jiao, H. Wang, and L. He, "Application and effect analysis of virtual reality technology in innovation and entrepreneurship education," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–20, July 2024.
- [30] S. Lin, "Influence of Digital Technology on Ideological and Political Education in Colleges and Universities under 5G Era," *Sci. Program.*, vol. 2022, pp. 1–13, January 2022.
- [31] Z. Liu, A. Alimbekov, S. Glushkov, and L. Ramazanova, "Modern Tendency to Practice-Oriented Learning: The Effect of Virtual Reality Technology on Students' Academic Performance," *Mendel*, vol. 29, no. 2, pp. 155–161, December 2023.
- [32] F. Hernández-Rodríguez and N. Guillén-Ybarra, "Competencies Development Strategy Using Augmented Reality for Self-Management of Learning in Manufacturing Laboratories (AR-ManufacturingLab)," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, pp. 1–12, November 2023.
- [33] Y. Liu, T. Liu, and Q. Ma, "Immersive Virtual Reality Teaching in Colleges and Universities Based on Vision Sensors," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2022, pp. 1–15, July 2022.
- [34] R. Rahmaniari, A. Junaidi, and R. Farta Wijaya, "Renewable Energy Education through Virtual Reality Tours," *TEM Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 1642–1649, May 2025.
- [35] G. Ruiz-Muñoz, D. Yépez-González, N. V. Romero Amores, and F. Calí Proaño Ángela, "Augmented reality's impact on STEM learning," *Salud, Ciencia y Tecnología*, vol. 4, pp. 1–9, July 2024.
- [36] X. Wang, "Research on the application of virtual reality technology in the teaching resource library of film and animation," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, May 2024.
- [37] Z. Zhang and S. Li, "A Study on the Development of Professional Training in Physical Education in Colleges and Universities under Information Technology," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–19, January 2024.
- [38] D. Albarracín-Acero, F. Romero-Toledo, C. Saavedra-Bautista, and E. Ariza-Echeverri, "Virtual Reality in the Classroom: Transforming the Teaching of Electrical Circuits in the Digital Age," *Future Internet*, vol. 16, no. 8, pp. 1–23, August 2024.
- [39] S. Hakim, D. Hariyanto, N. Suprpto, Yulkifli, H. Fahmi, K. Nisa, and I. Rizki, "Design and implementation of VR lato-lato STEAM in engineering education science," *International Journal of Evaluation and Research in Education*, vol. 14, no. 4, pp. 2749–2761, August 2025.
- [40] Q. Zhang, "Interactive Course Design and Development for Cognitively Inspired Distance International Chinese Education," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2022, pp. 1–11, October 2022.
- [41] V. Espinoza, D. Cárdenas-Salas, A. Cabrera, and L. Coronel, "Virtual Reality and BIM Methodology as Teaching- Learning Improvement Tools for Sanitary Engineering Courses," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 16, no. 6, pp. 20–39, March 2021.
- [42] S. Pizzagalli, K. Mahmood, R. Boychuk, T. Otto, and V. Kuts, "A workflow for extended reality-based learning in engineering education," *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 74, no. 2, pp. 103–108, March 2025.
- [43] M. Alnuaimi and M. Awad, "VR environment support for STEM students—a case study," *Interactive Learning Environments*, pp. 1–19, August 2025.
- [44] M. Anwar, Y. Rahmawati, N. Yuniarti, H. Hidayat, and E. Sabrina, "Leveraging Augmented Reality to Cultivate Higher-Order Thinking Skills and Enhance Students' Academic Performance," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 14, no. 10, pp. 1405–1413, October 2024.
- [45] Y. Ding and J. Hao, "The application of educational games based on virtual reality technology in teaching english in universities," *Systems and Soft Computing*, vol. 7, pp. 1–13, December 2025.
- [46] R. Porat and C. Ceobanu, "Enhancing Spatial Ability among Undergraduate First-Year Engineering and Architecture Students," *Educ. Sci. (Basel)*, vol. 14, no. 4, pp. 1–16, March 2024.
- [47] W. Lei, "The Application of Virtual Reality Technology in Exploring Interests and Cultivating Personalities in Physical Education in Colleges and Universities," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–17, January 2024.
- [48] H. Gómez-Tone, J. Martín-Gutiérrez, L. Anci, and C. Luis, "International comparative pilot study of spatial skill development in engineering students through autonomous augmented reality-based training," *Symmetry (Basel)*, vol. 12, no. 9, pp. 1–20, August 2020.
- [49] H. Deng, Y. Du, Q. Cai, and Y. Yang, "Influence of Intelligent Technology Applications on the Learning Effect: Virtual Reality as an Example," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 18, no. 10, pp. 4–18, May 2023.
- [50] Waskito, A. Fortuna, F. Prasetya, R. Wulansari, R. Nabawi, and A. Luthfi, "Integration of Mobile Augmented Reality Applications for Engineering Mechanics Learning with Interacting 3D Objects in Engineering Education," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 354–361, March 2024.
- [51] T. Volodymyrovych, K. Tetiana, T. Yaroslavovych, A. Agrawal, and D. Ghosh, "Evaluation of Virtual Reality Technology and Online Teaching System for Medical Students in Ukraine During COVID-19 Pandemic," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 16, no. 23, pp. 127–139, December 2021.
- [52] J. Liu and Y. Zou, "An Online Japanese Teaching Mode Based on Virtual Reality," *Sci. Program.*, vol. 2022, pp. 1–9, July 2022.

- [53] D. Lv, "Research on teaching reform and practice of architectural design courses in colleges and universities based on big data analysis," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–13, February 2024.
- [54] N. Li, "Research on Augmented Reality College English Listening and Speaking Teaching Mode Supported by Wearable Technology," *Mobile Information Systems*, vol. 2022, pp. 1–7, October 2022.
- [55] A. Álvarez-Marín, J. Velázquez-Iturbide, and M. Castillo-Vergara, "Technology acceptance of an interactive augmented reality app on resistive circuits for engineering students," *Electronics (Switzerland)*, vol. 10, no. 11, pp. 1–14, May 2021.
- [56] E. AbuKhoussa, M. El-Tahawy, and Y. Atif, "Envisioning Architecture of Metaverse Intensive Learning Experience (MiLEx): Career Readiness in the 21st Century and Collective Intelligence Development Scenario," *Future Internet*, vol. 15, no. 2, pp. 1–20, February 2023.
- [57] A. Djordjević, M. Ćirić, V. Milošević, D. Radivojević, E. Zammit, D. Scerri, and M. Gocić, "Transforming Water Education Through Investment in Innovation: A Case Study on the Cost-Benefit of Virtual Reality in Water Education," *Water (Switzerland)*, vol. 17, no. 13, pp. 1–19, July 2025.
- [58] N. Shakirova, N. Al Said, and S. Konyushenko, "The Use of Virtual Reality in Geo-Education," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 15, no. 20, pp. 59–70, October 2020.
- [59] Z. Xu, J. Chang, C. Han, and H. Wu, "Perception of Light Environment in University Classrooms Based on Parametric Optical Simulation and Virtual Reality Technology," *Buildings*, vol. 15, no. 15, pp. 1–20, July 2025.
- [60] L. Fu, "Research on the Teaching Model of Animation Professional Class Based on AR/VR Technology and 5G Network," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2021, pp. 1–10, December 2021.
- [61] A. Huda, N. Azhar, A. Almasri, R. Wulansari, A. Mubai, R. Sakti, F. Firdaus, and S. Hartanto, "Augmented Reality Technology as a Complement on Graphic Design to Face Revolution Industry 4.0 Learning and Competence: The Development and Validity," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 15, no. 5, pp. 116–126, March 2021.
- [62] W. Maier, H. Möhring, Q. Feng, and R. Wunderle, "Augmented reality to visualize a finite element analysis for assessing clamping concepts," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 133, no. 5–6, pp. 2293–2302, July 2024.
- [63] W. Terkaj, M. Urgo, P. Kovács, E. Tóth, and M. Mondellini, "A framework for virtual learning in industrial engineering education: development of a reconfigurable virtual learning factory application," *Virtual Real.*, vol. 28, no. 3, pp. 1–22, August 2024.
- [64] C. Valbuena-Bermúdez, N. Lozano-Ramírez, A. Serrano-Sierra, and C. Granados-León, "CAMPUS: A mobile app for construction processes learning and teaching in higher education," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 32, no. 4, pp. 1–31, July 2024.
- [65] J. Wong, A. Azam, Q. Cao, L. Huang, Y. Xie, I. Winkler, and Y. Cai, "Evaluations of Virtual and Augmented Reality Technology-Enhanced Learning for Higher Education," *Electronics (Switzerland)*, vol. 13, no. 8, pp. 1–16, April 2024.
- [66] R. Kulkarni and R. Harne, "ADOPTION AND USAGE OF AUGMENTED REALITY-BASED VIRTUAL LABORATORIES TOOL FOR ENGINEERING STUDIES," *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, vol. 23, pp. 1–22, August 2024.
- [67] L. Pan, "Research on Ideological and Political Practice Teaching based on VR technology in the Information Age," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, July 2024.
- [68] B. Peixoto, L. Bessa, G. Goncalves, M. Bessa, and M. Melo, "Teaching EFL With Immersive Virtual Reality Technologies: A Comparison With the Conventional Listening Method," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 21498–21507, March 2023.
- [69] M. Rodríguez-Saavedra, L. Barrera, I. Cuentas, L. Campos, A. Morales, J. Mamani, and R. Arguedas-Catasi, "Augmented Reality as an Educational Tool: Transforming Teaching in the Digital Age," *Information (Switzerland)*, vol. 16, no. 5, pp. 1–18, April 2025.
- [70] S. Shahriar, J. Ramesh, M. Towheed, T. Ameen, A. Sagahyroon, and A. Al-Ali, "Narrative Integrated Career Exploration Platform," *Front. Educ. (Lausanne)*, vol. 7, pp. 1–10, March 2022.
- [71] Y. Si, "Optimization of the innovation path of practical teaching of college Civics based on VR technology under information fusion technology," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, September 2024.
- [72] N. Wang, M. Abdul Rahman, and B. Lim, "Teaching and Curriculum of the Preschool Physical Education Major Direction in Colleges and Universities under Virtual Reality Technology," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2022, pp. 1–10, March 2022.
- [73] J. Yan, "The reform of the teaching mode of aesthetic education for university students based on digital media technology," *Open Computer Science*, vol. 15, no. 1, pp. 1–14, February 2025.
- [74] F. Berardinucci, G. Colombo, M. Lorusso, M. Manzini, W. Terkaj, and M. Urgo, "A learning workflow based on an integrated digital toolkit to support education in manufacturing system engineering," *J. Manuf. Syst.*, vol. 63, pp. 411–423, April 2022.
- [75] F. Boyle, J. Walsh, D. Riordan, C. Geary, P. Kelly, and E. Broderick, "REEdI Design Thinking for Developing Engineering Curricula," *Educ. Sci. (Basel)*, vol. 12, no. 3, pp. 1–13, March 2022.
- [76] L. Han and Z. Ge, "Design of Psychology Experiment Teaching System based on CAD Virtual Reality Technology," *Comput. Aided. Des. Appl.*, vol. 20, no. S1, pp. 76–85, January 2022.
- [77] W. Terkaj, K. Kleine, and V. Kuts, "Virtual labs for higher education in industrial engineering," *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, vol. 73, no. 2, pp. 142–149, April 2024.