



REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 3, Número 3
Julio-Septiembre 2026

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, www.omniscens.com

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3
julio-septiembre 2026

Publicación trimestral
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: admin@omniscens.com

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.



Copyright © 2026: Los autores



9773061781003

Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 3, Núm. 3, julio-septiembre 2026, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, admin@omniscens.com, Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 julio 2026.



Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 3, Número 3, 2026, julio-septiembre

DOI: <https://doi.org/10.71112/617ad245>

**GEMELOS DIGITALES Y METAVERSO EN LA EDUCACIÓN STEAM: UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL ESTADO DEL ARTE**

**DIGITAL TWINS AND METAVERSE IN STEAM EDUCATION: A SYSTEMATIC
STATE-OF-THE-ART REVIEW**

Lubeimar Eduardo Gallego Ruiz

Edwin Eduardo Millán Rojas

Richard de Jesús Gil Herrera

Lucelly Correa Cruz

Colombia

Gemelos digitales y metaverso en la educación STEAM: una revisión sistemática del estado del arte

Digital twins and metaverse in STEAM education: a systematic state-of-the-art review

Lubeimar Eduardo Gallego Ruiz^{a,*}

lu.gallego@udla.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-9117-6420>

Edwin Eduardo Millán Rojas^b

edwineduardo.millan@unir.net

e.millan@udla.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4258-4601>

Richard de Jesús Gil Herrera^c

richard.dejesus@unir.net

<https://orcid.org/0000-0003-4481-7808>

Lucelly Correa Cruz^d

l.correa@udla.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-4781-0305>

*Autor de correspondencia: lu.gallego@udla.edu.co, ^aUniversidad Americana de Europa (UNADE), México, Universidad de la Amazonia, Colombia, ^bFundación Universitaria Internacional de La Rioja (UNIR), Colombia, Universidad de la Amazonia, Colombia, ^cUniversidad Internacional de La Rioja (UNIR), Logroño, España, ^dUniversidad de la Amazonia, Colombia

RESUMEN

El avance de las tecnologías de realidad virtual (VR) y aumentada (AR) ha hecho posible la incorporación de espacios digitales inmersivos como metaversos; a estos desafíos se le suma el Internet de las cosas (IoT) que permite la implementación de soluciones de control remoto. Este avance ha dado lugar a los gemelos digitales, representaciones virtuales de sistemas físicos, que permiten simular y predecir comportamientos en tiempo real. Estas tecnologías

están transformando la industria 4.0, con mejoras en eficiencia y personalización. Los retos como la interoperabilidad de sistemas, protección de la privacidad y escalabilidad, además de su aplicación en el sector educativo para potenciar el aprendizaje de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas (STEAM). Este artículo presenta una investigación del estado del arte, sintetizando los principales hallazgos encontrados acerca de los Metaversos y Gemelos digitales, aplicados al desarrollo de aprendizajes mediante STEAM. Se implementó una metodología sistemática de literatura, encontrando de forma general que la combinación del IoT y el metaverso en el ámbito educativo ha facilitado la creación de plataformas más interactivas y conectadas, que estimulan la participación de los estudiantes en entornos de aprendizaje virtual.

Palabras Clave: gemelos digitales; metaversos; STEAM; aprendizaje e internet de las cosas.

ABSTRACT

The advancement of virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies has made it possible to incorporate immersive digital spaces as metaverses; alongside these is added the Internet of Things (IoT), which enables remote control solutions. This breakthrough has given rise to digital twins, virtual representations of physical systems, which allow real-time behavior simulation and prediction. These technologies are transforming Industry 4.0 by improving efficiency and customization. Challenges such as system interoperability, privacy protection, and scalability, as well as its application in the education sector to enhance learning of Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics (STEAM). This article presents state-of-the-art research, synthesizing the main findings on the Metaverse and Digital Twins as applied to the development of STEAM-based learning. A systematic literature review was conducted, which generally found that the integration of IoT and the metaverse in education has facilitated the

development of more interactive and connected platforms that encourage student participation in virtual learning environments.

Keywords: digital twins; metaverses; STEAM; learning; internet of things.

Recibido: 15 junio 2026 | Aceptado: 2 julio 2026 | Publicado: 3 julio 2026

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, el concepto de metaverso ha tenido sus raíces en la ciencia ficción, específicamente con la obra "Snow Crash" de Neal Stephenson (Kim, 2022). Sin embargo, en los últimos años, los avances en tecnologías como la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR) han llevado a una evolución significativa del metaverso, transformándolo en un espacio en el que las personas pueden interactuar con entornos completamente digitales. Este desarrollo ha dado lugar al concepto de gemelos digitales, que son representaciones virtuales de sistemas físicos que permiten simular y predecir comportamientos en tiempo real. Estos avances están revolucionando la digitalización en industrias y servicios, incluyendo el ámbito educativo, al ofrecer herramientas que permiten una mayor precisión en la simulación de procesos y experimentos (Zhang et al., 2023). La Industria 4.0 busca implementar de manera integral la comunicación y la información, con el objetivo de mejorar la capacidad de respuesta, aumentar la eficiencia en la producción y personalizar productos y servicios a gran escala (Guiffo Kaigom, 2024). A nivel global, el desarrollo del metaverso y los gemelos digitales enfrenta retos importantes, como la interoperabilidad entre sistemas y la integración de datos de diversas fuentes. Además, existen desafíos en torno a la escalabilidad de las infraestructuras necesarias y la protección de la privacidad de los usuarios, ya que estos entornos requieren manejar grandes cantidades de datos personales. Este panorama ha llevado a reflexionar sobre aspectos éticos y legales para asegurar que la

adopción masiva de estas tecnologías no ponga en riesgo la seguridad de los usuarios ni incrementa la brecha tecnológica en regiones con acceso limitado a estas innovaciones (Sánchez-Adame et al., 2023). El metaverso se presenta como un entorno digital persistente e inmersivo que difumina las líneas entre lo físico y lo virtual, integrando tecnologías como la realidad extendida (XR) (Aliyu et al., 2024). A pesar de los avances, aún existen dificultades importantes, especialmente en lo que respecta a la creación de dispositivos portátiles y ligeros, como pantallas montadas en la cabeza y sistemas de realidad aumentada móvil, capaces de satisfacer las exigencias tecnológicas de la realidad extendida. Estos dispositivos enfrentan limitaciones relacionadas con la potencia de procesamiento, el almacenamiento y la vida útil de la batería, lo que sigue siendo un reto significativo (Aliyu et al., 2024). En el ámbito educativo, el metaverso se ha destacado como una plataforma que combina lo físico y lo digital, proporcionando un potencial considerable para mejorar los métodos de enseñanza. Esta herramienta permite crear entornos de aprendizaje inmersivos y adaptados a las necesidades del estudiante, favoreciendo la interacción con simulaciones avanzadas que facilitan la comprensión de conceptos complejos en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas (STEAM). Los gemelos digitales complementan estas simulaciones al permitir realizar experimentos que, de otra forma, serían demasiado costosos o difíciles de llevar a cabo en la vida real (Al-Ghareeb et al., 2023). El metaverso puede ser entendido como un ecosistema de espacios de colaboración virtuales interconectados, habitados por gemelos digitales que representan activos físicos y sus aplicaciones, interactuando con avatares que reflejan a los usuarios (Guiffo Kaigom, 2024). El metaverso, entendido como una plataforma que conecta los mundos físico y digital, ofrece nuevas oportunidades para la educación a través de la realidad extendida (XR), que incluye realidad virtual (VR), aumentada (AR) y mixta (MR); es de aclarar que este entorno facilita la creación de espacios de aprendizaje interactivos y personalizados, donde los estudiantes pueden involucrarse en actividades educativas

inmersivas, lo que favorece la comprensión de conceptos complejos y promueve la colaboración en entornos virtuales (Kuo & Choi, 2024).

De manera particular, el metaverso es percibido como un espacio donde niños y jóvenes construyen identidades digitales mediante avatares personalizados en plataformas como Roblox y Fortnite; este tipo de ambientes les permiten vivir experiencias inmersivas que, dependiendo del contexto, pueden tener efectos positivos o negativos sobre su socialización y el desarrollo de habilidades creativas (Bonales-Daimiel et al., 2024). En cuanto a los gemelos digitales, su aplicación dentro del metaverso permite una representación fiel de los usuarios y sus comportamientos a través de la utilización de datos multimodales; lo expuesto es clave para proporcionar experiencias personalizadas en aplicaciones inteligentes dentro del metaverso (Zhou et al., 2024). Así mismo, dado que los gemelos digitales generan datos heterogéneos en diversas plataformas, se hace necesario el uso de sistemas avanzados de aprendizaje federado personalizado para combinar estos datos de manera eficiente y reducir los costos asociados al procesamiento computacional. Desde esta perspectiva, se resalta que los gemelos digitales también se pueden entender como representaciones virtuales de sistemas físicos que permiten la simulación y análisis de procesos en tiempo real. Este tipo de tecnología es especialmente útil para replicar el comportamiento de sistemas físicos, como robots o fábricas, para realizar pruebas en un entorno controlado antes de implementar dichos sistemas en el mundo real (Martínez-Gutiérrez et al., 2024). En el campo de la educación STEAM, la combinación de este enfoque con el metaverso está transformando la manera en que los estudiantes aprenden, ya que les permite participar en actividades prácticas como laboratorios virtuales y simulaciones de alta precisión; lo planteado, no solo potencia su creatividad, sino que también desarrolla habilidades críticas para resolver problemas complejos (Murala, 2024). Asimismo, Bonales-Daimiel et al. (2024) destacan que los entornos del metaverso pueden estimular la innovación y la creatividad en la educación STEAM, al permitir

que los usuarios personalicen y diseñen sus propios espacios de juego; esta perspectiva se alinea con la teoría del "aprendiz héroe", en la cual los estudiantes trabajan hacia metas individuales y colectivas, mejorando tanto su pensamiento crítico como sus habilidades de resolución de problemas en un entorno colaborativo. El Internet de las cosas (IoT) ha tenido un impacto notable en el ámbito educativo, ya que permite el desarrollo de laboratorios remotos que posibilitan a los estudiantes realizar experimentos desde cualquier lugar, analizando datos en tiempo real sin necesidad de estar presentes físicamente: el IoT, ofrece soluciones que mejoran el acceso a la educación, especialmente en áreas donde los recursos son limitados, y promueve una forma de aprendizaje más flexible y personalizada (Martínez-Gutiérrez et al., 2024). Desde esta perspectiva, Zhou et al. (2024) subrayan el papel fundamental del IoT en la integración de datos heterogéneos dentro del metaverso; por ende, el aprendizaje federado, en este contexto, permite conectar y fusionar datos multimodales provenientes de diversos dispositivos IoT, mejorando la precisión de los modelos de recomendación personalizados y facilitando la rápida convergencia en la entrega de servicios en tiempo real. El impacto de las tecnologías como los gemelos digitales y el Internet de las Cosas (IoT) no se limita al ámbito educativo, sino que también ha revolucionado el sector industrial. La combinación de estas herramientas ha permitido a las empresas supervisar y controlar sus operaciones en tiempo real, mejorando de manera significativa la eficiencia operativa. Esta sinergia tecnológica está impulsando el cambio hacia la Industria 5.0, donde la colaboración entre humanos y máquinas se vuelve más efectiva gracias a la interconexión de estos sistemas avanzados (Martínez-Gutiérrez et al., 2024). Las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR), también han sido ampliamente adoptadas en las fases de madurez de la Industria 4.0 para proporcionar mayor visibilidad y transparencia (Guiffo Kaigom, 2024). En el contexto de países como Colombia, donde aún persisten desafíos relacionados con la brecha digital, la adopción de tecnologías como el metaverso, el IoT y los gemelos digitales representa

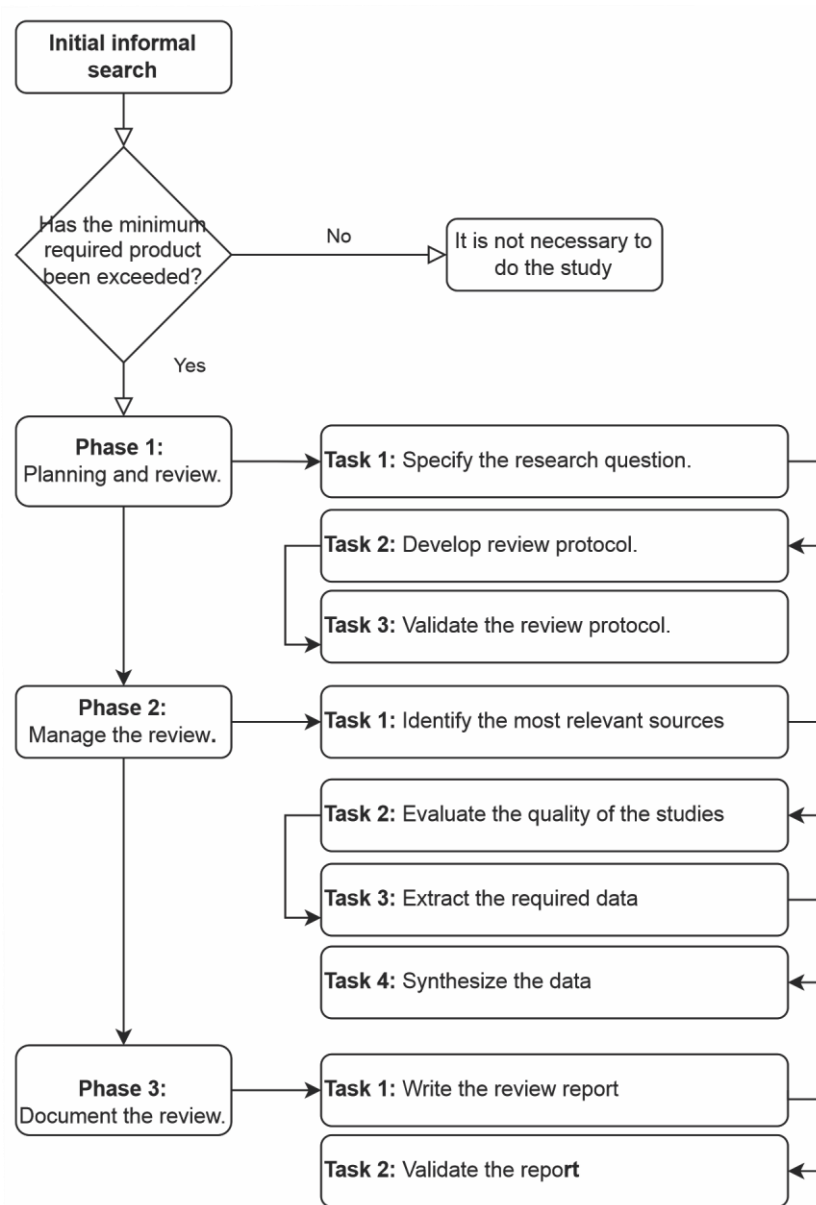
una oportunidad significativa para mejorar el acceso a la educación en áreas rurales o desatendidas. Estas plataformas virtuales permiten a los estudiantes participar en experiencias educativas sin la necesidad de infraestructura física costosa, lo que contribuye a disminuir las desigualdades en el acceso a la educación y fomenta el desarrollo de competencias técnicas en regiones con acceso limitado a recursos tecnológicos (Zhang et al., 2023). La adopción de estas innovaciones tecnológicas será clave para el avance digital y tecnológico del país. El paradigma educativo tradicional está experimentando una transformación profunda gracias a la integración del metaverso, el IoT y los gemelos digitales. Estas tecnologías permiten crear experiencias de aprendizaje más personalizadas, adaptadas a las necesidades individuales de cada estudiante. La educación moderna se está enfocando en que los estudiantes no solo reciban información de manera pasiva, sino que también participen activamente en la creación de conocimiento a través de la interacción con estas herramientas tecnológicas avanzadas (Sánchez-Adame et al., 2023).

METODOLOGÍA

El proceso de revisión sistemática de literatura se basó en la estrategia de investigación desarrollada por Kitchenham y Barbara, en su artículo titulado: una revisión sistemática de la investigación del proceso de revisión sistemática en ingeniería de software (Kitchenham & Brereton, 2013), en él se describen la estrategia a implementar a través de tres fases: Fase 1: planificación y revisión, en su fase 2: conducir la revisión y la Fase 3: Documentar la revisión (Ver Figura 1), además el proceso de selección de estudios se realizó conforme a las directrices del modelo PRISMA, garantizando la transparencia y reproducibilidad de la revisión sistemática (Page et al., 2021).

Figura 1

Procesos para la implementación de la Metodología sistemática de literatura.



Note: This diagram illustrates the key steps in carrying out a systematic methodology, from planning to synthesis of results.

Para el proceso de búsquedas de información se desarrollaron tres preguntas de investigación: ¿Qué metaversos han implementados gemelos digitales?, ¿Qué metaversos han desarrollado procesos de aprendizaje de Internet de las cosas? Y ¿Qué procesos de

aprendizaje se han desarrollado en Internet de las cosas e implementen STEAM? Además de presentar los algoritmos de búsquedas los metadatos de búsquedas, las bibliotecas utilizadas y los criterios de selección e inclusión. (Ver tabla 1)

Tabla 1.

Proceso de revisión sistemática de literatura.

Pregunta de investigación	¿Qué metaversos han implementados gemelos digitales?	
	¿Qué metaversos han desarrollado procesos de aprendizaje de Internet de las cosas?	
	¿Qué procesos de aprendizaje se han desarrollado en Internet de las cosas e implementen STEAM?	
Criterios de búsqueda	Cadena de búsqueda	TITLE-ABS-KEY (metaverses AND "digital twins") TITLE-ABS-KEY (metaverses AND learning "internet of things") TITLE-ABS-KEY (steam AND learning "Internet of Things")
	Metadatos de búsqueda	Título, Documento final, palabras clave
	Selección de bibliotecas	Scopus, Web of Science
Criterios de selección	Criterios de inclusión	Que el trabajo haya sido publicado en los últimos 5 años. Que el trabajo se encuentre en el área de ingeniería. Adema que se incluyan temas derivadas como metaverse, virtual reality, internet of thing. Trabajos en inglés.
	Criterios de exclusión	Que el trabajo no se encuentre en la ventana de observación. Que el trabajo permita descargas

Nota: Proceso de revisión sistemática, pregunta de investigación, criterios de búsqueda, criterios de selección final de artículos para análisis de investigación.

Los principales hallazgos identificados en el proceso de revisión sistemática de la literatura presentado en la Tabla 1 son los siguientes: En la base de datos de Springer, se identificaron siete artículos relacionados con STEAM y educación en IoT (véase la Tabla 3), que exploran la integración del IoT en este ámbito, destacando cómo esta combinación mejora

el aprendizaje práctico y el desarrollo de competencias tecnológicas en áreas como la informática. También destaca el aumento de la participación femenina en STEAM, apoyado por el uso de kits interactivos con textiles inteligentes, así como la influencia histórica de diferentes materiales en los avances tecnológicos globales. Por otro lado, se encontraron diecisiete artículos en Scopus que abordan temas como la protección de datos en el metaverso mediante el uso de inteligencia artificial emocional y algoritmos diferenciales de privacidad. Además, se explora el impacto del 5G en la conectividad y la automatización industrial, utilizando enfoques combinados como los gemelos digitales y la computación en la nube para optimizar la vigilancia y gestión de las ciudades inteligentes. Del mismo modo, se discuten sistemas inteligentes de recomendación que buscan fomentar hábitos alimenticios saludables mediante "empujones digitales".

Tabla 2.

Proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de estudios según el modelo PRISMA.

Fase PRISMA	Descripción	n
Identificación	Registros identificados en bases de datos (Springer, Scopus, Web of Science, ACM Digital Library, EBSCO, MDPI, Elsevier)	320
Cribado	Registros tras eliminación de duplicados	245
	Registros excluidos tras lectura de título y resumen	180
Elegibilidad	Artículos evaluados a texto completo	65
	Artículos excluidos tras evaluación a texto completo	27
	└ No alineados con los objetivos del estudio	15
	└ Enfoque no educativo / no IoT / no STEAM	8
	└ Texto completo no disponible	4
Inclusión	Estudios incluidos en la revisión sistemática final	38

Nota. El proceso de selección de estudios se llevó a cabo siguiendo las directrices del modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

El proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios se llevó a cabo conforme a las directrices establecidas por el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items

for Systematic Reviews and Meta-Analyses), el cual constituye un estándar internacional para la elaboración de revisiones sistemáticas y metaanálisis. En la fase de identificación se recuperaron 320 registros procedentes de múltiples bases de datos académicas.

Posteriormente, se realizó la eliminación de duplicados y la aplicación de criterios de inclusión y exclusión mediante la evaluación de títulos y resúmenes. Los estudios potencialmente elegibles fueron sometidos a una revisión a texto completo, lo que permitió seleccionar finalmente 38 artículos que cumplieron con los objetivos y criterios metodológicos definidos para la presente revisión sistemática (Page et al., 2021).

Table 2.

Findings by bibliographic database

Thematic category	Database	Number of items
Digital twins and metaverses	Springer	2
	Scopus	4
	Elsevier	1
	EBSCO	2
	Web of Science	2
Metaversos have developed	Springer, Scopus	2
	MDPI (Future Internet), Scopus	2
Internet of Things learning processes.	Technical Report, Scopus	1
	ACM Digital Library, Web of science.	1
Learning processes on the Internet of Things and implement STEAM	Springer	3
	ACM Digital Library	2
	Future Internet	2
	Journal of Intelligent Manufacturing, Web of Science	1
	Wireless Personal Communications	1
	Sustainability	1
	Scopus	11

Note: The table shows the number of articles reviewed and selected in each bibliographic database, with comments on the subject matter covered.

Elsevier por su parte, proporcionó un análisis de los retos y oportunidades que plantea la integración de la IA en IoT, ciberseguridad y sanidad, utilizando el análisis de datos de inversión como herramienta de evaluación. EBSCO revisó dos artículos centrados en la creación de materiales educativos basados en IoT, como sistemas de aprendizaje con microordenadores similares a Arduino, diseñados para mejorar la enseñanza en los niveles de primaria y secundaria. También aborda la inclusión de cuestiones ambientales locales en los planes de estudio escolares, con el fin de promover la ciudadanía activa y participativa. Se encontraron tres artículos en la base de datos Web of Science que discuten la optimización de algoritmos predictivos en entornos industriales, utilizando retroalimentación en tiempo real, y propuestas para lograr una fabricación más sostenible mediante IoT y blockchain en el contexto de la Industria 5.0. La Biblioteca Digital de ACM contribuyó con tres artículos centrados en el uso del aprendizaje profundo multiagente para la migración de tareas en metaversos vehiculares y en la optimización del control del nivel de agua en generadores nucleares mediante la mejora del aprendizaje humano. El repositorio de Future Internet presentó dos publicaciones: una que examinaba los retos y oportunidades del metaverso y otra que exploraba el uso de gemelos digitales y la computación en la nube para la gestión de ciudades inteligentes. Finalmente, el Journal of Intelligent Manufacturing destacó un artículo sobre la incorporación de tecnologías inmersivas y blockchain en el sector manufacturero, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad. En las Comunicaciones Personales Inalámbricas y la Sostenibilidad, se abordaron temas como el impacto del 5G en la Industria 4.0 y la eficacia del modelo STEAM-6E en la educación tecnológica para adultos mayores.

RESULTADOS

Los documentos seleccionados, ofrecen una visión integral sobre el impacto del metaverso y las tecnologías relacionadas en diversos campos. El Microverso se presenta como una solución práctica orientada a tareas específicas dentro de ciudades inteligentes, resaltando cómo la integración de tecnologías como los gemelos digitales y la computación en el borde y la niebla puede facilitar la toma de decisiones en tiempo real y mejorar la vigilancia pública. Este enfoque contrasta con el análisis teórico de la ingeniería digital en los metaversos industriales, que explora cómo la evolución de las herramientas asistidas por computadora hacia los gemelos digitales y los metaversos industriales está transformando el diseño y desarrollo de sistemas complejos, con un enfoque particular en abordar desafíos climáticos. Mientras tanto, otros estudios destacan cómo plataformas de metaversos plantean oportunidades empresariales y retos económicos, vinculando la realidad digital con nuevas estrategias de negocio. (Ver tabla 3).

Table 3.

Digital twins and metaverses

Authors	Contribution	Methodological techniques
Huike Li, Bo Li (2024)	It provides a comprehensive analysis of the current state of metaverse research, highlighting its evolution, critical points and possible future directions.	Bibliometric analysis using CiteSpace, focusing on research trends and collaborative networks.
Luca Sabatucci, Agnese Augello (2024)	Future Explore how to integrate real-life social interactions on the Internet into digital practices and social theories.	Methodological study focusing on applied to digital twins
Huike Li, Bo Li (2024)	It analyzes the current landscape of metaverse research, emphasizing international collaborations and key trends through visual maps.	It uses CiteSpace to generate maps of collaboration networks between authors, institutions and countries, as well as citation analysis.

Guojun Wang, Qi Liu (2024)	It proposes an authentication protocol based on chaotic maps that ensures communication security and privacy in the metaverse, addressing the challenges of cyber attacks and reducing latency.	Formal verification, informal testing, simulation using HLPSL and C to validate attack resistance.
Hung Nguyen, Aya Hussein, Matthew A. Garratt, Hussein A. Abbass (2023)	It introduces a metaverse enabled by digital twins to control robotic swarms in a scalable manner, integrating virtual agents to facilitate human-swarm interaction.	Case study using gestural communication and control of unmanned robotic swarms using a virtual UAV at two levels of autonomy.
Qu, Q., Hatami, M., Xu, R., Nagothu, D., Chen, Y., Li, X., Blasch, E., Ardiles-Cruz, E., & Chen, G. (2024).	He presents the concept of "Microverse," a practical, task-oriented solution for smart city applications that enables real-time data processing in a three-dimensional digital environment.	Case study on public surveillance using digital twins and drones in an edge and fog computing framework
Patterson, E. A. (2024)	Discusses how digital technology, from digital twins to industrial metaverses, is revolutionizing the design and evaluation of complex systems to address climate change challenges.	Review of concurrent design methods using digital twins and environments to evaluate the life cycle of complex Systems.

Note: The table compares the main characteristics and applications of digital twins and metaverses, highlighting their differences and areas of convergence in the use of emerging technologies.

En este contexto, los estudios también abordan los desafíos técnicos que enfrenta la integración del metaverso con tecnologías como el Internet de las Cosas, blockchain y la inteligencia artificial. Se destacan problemas de escalabilidad, interoperabilidad, privacidad y eficiencia energética en entornos urbanos inteligentes. El uso de estos avances tecnológicos,

como se observa en el documento sobre el Microverso, muestra cómo se pueden superar estos desafíos mediante soluciones más específicas y locales, que permiten la creación de entornos digitales más manejables y optimizados para tareas particulares. Estos análisis muestran una tendencia clara hacia la adopción del metaverso en sectores industriales, urbanos y empresariales, estableciendo el marco para el crecimiento de tecnologías que no solo transformarán el trabajo y la vida diaria, sino que también se enfrentarán a los problemas del presente y el futuro.

Table 4.

Metaverses that have developed IoT learning processes.

Authors	Contribution	Methodological techniques
Jamshidi, M., Shadroo, S., & Moztarzadeh, O. (2023).	It explores the opportunities and challenges of the metaverse in the creation of an intelligent digital space, focused on collaboration and virtual reality.	Conceptual proposal, formal analysis and literature review.
Qu, Q., Hatami, et al. (2024).	Emphasizes the importance of digital twins and cloud-fog computing for smart cities. Public safety surveillance systems serve as a case study.	Case study with drones and surveillance cameras.
Lotmyf, L. & Ilg, R. (2022).	Synthesizes the main findings of healthy food recommendation systems and digital nudges, highlighting the benefits in the prevention of noncommunicable diseases.	Systematic literature review and empirical data analysis.
Shi, L., & Zhu, H. (2024).	This study analyzes privacy leakage risks in the metaverse using emotional artificial intelligence and IoT. It proposes a differential privacy algorithm to protect data.	Risk assessment based on sensitivity, similarity and attribute correlation calculations; simulation algorithms.
Shi, C., Chang, C. C., AlMasri, E., Chen, A. C., H., Wang, H., Zhang, Q.,	Provides a framework for migration of avatar tasks in vehicular metaverses based on multi-agent deep learning. Winner of the best paper at the workshop.	Review of five papers on IoT integration, deep learning and metaverse; experiments on deep neural networks.

Tseng, H. T., & Kim, T. (2023).	It proposes a metaverse industrial manufacturing framework that integrates IoT, digital twins and blockchain to achieve	Comparative analysis of Industry 4.0 and 5.0 paradigms, with focus on digital twins and smart manufacturing.
H., Wang, et al. (2023).	more humane and sustainable manufacturing.	
Yao, X., et al. (2024).		

Note: The table presents some metaverses that have integrated learning processes related to the Internet of Things (IoT), highlighting the IoT technologies employed and the types of learning offered.

Los documentos analizados ofrecen una perspectiva integral sobre la convergencia del metaverso, el aprendizaje, y el Internet de las Cosas (IoT), destacando cómo estas tecnologías pueden transformar múltiples sectores, especialmente la educación y la manufactura. El documento de Shi y Zhu (2024) explora la protección de la privacidad de los usuarios en el contexto del metaverso, utilizando algoritmos basados en IA emocional e IoT para evaluar y mitigar los riesgos de fugas de datos. Este enfoque subraya la importancia de la seguridad en entornos virtuales donde el aprendizaje personalizado y las interacciones sociales son cada vez más comunes. A su vez, la investigación de Yao et al. (2024) ofrece un marco de manufactura industrial orientado al metaverso, resaltando cómo el IoT y los gemelos digitales pueden optimizar procesos industriales, promoviendo un enfoque más humano y sostenible en la Industria 5.0. Ambos documentos reflejan la necesidad de integrar avances tecnológicos con la seguridad y sostenibilidad, y son claves para el desarrollo de plataformas de aprendizaje dentro del metaverso (Ver tabla 5).

Por otro lado, el trabajo presentado en el *3rd International Workshop on Deep Learning for the Web of Things* (2023) explora las aplicaciones del aprendizaje profundo en el metaverso, específicamente en la migración de tareas de avatares en metaversos vehiculares. Este estudio muestra el potencial del IoT y el aprendizaje profundo para transformar la interacción entre el mundo físico y virtual, abriendo nuevas oportunidades para entornos educativos inmersivos. Además, Jamshidi et al. (2023) en "The MetaMetaverse: Ideation and Future Directions"

ofrecen una revisión crítica de los desafíos y oportunidades del metaverso como espacio colaborativo digital, resaltando su capacidad para innovar en el aprendizaje interactivo. En conjunto, estos estudios presentan una visión del metaverso como un entorno donde el aprendizaje personalizado, potenciado por el IoT y la IA, puede ser seguro, accesible y eficiente, transformando tanto la educación como la interacción humana en entornos digitales.

Table 5.

IoT learning processes that implement STEAM

Authors	Contribution	Methodological techniques
Zhang & Sun, 2023	This paper proposes a dual-model optimization for prediction algorithms in industrial environments, improving real-time feedback for equipment performance evaluation. It introduces methods for handling data from multiple sensors, enabling higher accuracy in performance prediction and representation.	Data collection, data fusion from multiple sources and optimization of dual-model stacking using algorithms such as PSO and CV-Grid Search.
Rao & Prasad, 2022	This paper emphasizes the essential role of 5G in improving factory-to-factory connectivity globally. It highlights how the ultra-low latency and reliability of 5G will drive Industry 4.0, enabling efficient wireless communication and automation of production processes.	Scenario analysis, global connectivity case studies, and socioeconomic forecasting for 5G adoption.
Todoriki et al., 2019	The study focuses on designing IoT-based educational material for STEAM education, with the goal of improving student engagement through real-time data visualization and management systems. It explores the use of educational microcomputers such as Arduino to enhance learning experiences in primary and secondary education.	Experimental design with IoT devices, sensor-based data collection and real-time web-based monitoring.
Yao et al., 2016	This paper introduces the concept of manufacturing with wisdom and explores its potential for integrating human-centered systems with industrial processes in the metaverse. It investigates how immersive technologies can transform manufacturing through collaboration between humans, machines, and digital systems.	Survey and classification of manufacturing systems, comparative analysis of human-computer interaction models.
Jones, 2022	This paper explores how various materials have played a transformative role throughout human history, focusing on	Comparative analysis of materials over different periods, with

	their development and their impact on global technological advances.	emphasis on economic and social impacts.
Sharma & Jindal, 2023	This paper reviews the potential and challenges of AI applications in fields such as IoT, cybersecurity, and healthcare, providing a SWOT analysis for each domain. It emphasizes the evolving role of AI in improving these sectors.	SWOT analysis of emerging technologies, literature review of AI applications in various sectors.
Burbaité & Gudonienė, 2021	The authors present a model for integrating IoT into STEAM education, highlighting how IoT can enhance learning in computer science by providing hands-on experiences with real-world applications.	Conceptual modeling, scenario-based learning.
Chen & Lin, 2017	This study introduces a robotics curriculum using smart textiles to increase female participation in STEAM education, focusing on hands-on learning and creativity. It examines the gender gap in technology education and offers solutions to close it.	Case study, experimental design with pre- and postsurveys, interactive toolkits.
Han et al., 2018	They propose a new virtual reference tuning method based on human learning optimization to control the water level of steam generators. The research demonstrates that the approach improves control performance in nuclear plants.	Simulation method, human learning optimization (HLO) techniques, Water-levelcontrol.
Chung et al., 2018	The study evaluates the effectiveness of a special STEAM-6E course focused on IoT device design for seniors. The results indicate that the STEAM-6E teaching model improves student cooperation, learning, and confidence.	Quasi-experiment with questionnaires and qualitative analysis of student interaction.
Smith & Garcia, 2022	This paper addresses how to integrate community environmental issues into the school curriculum to foster participatory citizenship, highlighting the importance of involving students in solving local problems.	Interviews with experts and analysis of qualitative data.
Patel & Kumar, 2020	The authors explore how data science and IoT can be integrated into STEAM education to enhance students' technological and analytical skills through hands-on activities.	Experimental study with control groups and evaluation of academic results.
Cheng Shi et al., 2023	The research explores the integration of deep learning in the Internet of Things (IoT) and Web of Things (WoT), and presents innovative applications in vehicular metaverse, video object detection, and statistical pattern mining.	Literature review and case studies on deep learning algorithms in IoT.
Lusheng Shi & Zhu, 2024	It proposes a risk assessment scheme for privacy data leakage in the metaverse, using sensitivity and attribute association calculations, in addition to a differential privacy-based protection algorithm.	Design of risk assessment schemes and simulations of protection algorithms.

Qu et al., 2024	This paper presents the concept of microverse, a pragmatic solution for smart cities based on cloud and edge computing, using digital twins to perform specific tasks and process data in real time.	Case study with public monitoring prototypes and proof-of-concept experiments.
Suja & Nayahi, 2020	This paper reviews deep incremental learning techniques applied to large data streams generated by the Internet of Things (IoT). It proposes solutions for handling concept changes in non-stationary environments and discusses the challenges in feature selection and change detection.	Literature review and simulations of incremental machine learning algorithms.
Müller, 2024	It explores the evolution of the metaverse from a user-technology interaction perspective, highlighting the need for standardization and development of open platforms for broader collaboration in immersive environments	Theoretical analysis and exploration of case studies on metaversal implementations.
Santos et al., 2023	The study shows how STEAM educational strategies supported by the Internet of Things (IoT) can promote participatory citizenship among students through citizen science projects.	Design-Based Research (DBR) cycle, qualitative analysis and classroom observation.

Note: The table shows examples of learning processes related to the Internet of Things (IoT) that integrate STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) approaches, highlighting the educational platforms used in each case.

Los documentos revisados ofrecen una visión integral de cómo tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el metaverso, están transformando distintos sectores, desde la educación hasta la industria. Varios estudios, como el de Alex y Nayahi (2020), resaltan la relevancia del aprendizaje incremental profundo para procesar grandes flujos de datos en IoT, abordando desafíos críticos como la detección de cambios de concepto y la selección de características. Por otro lado, Müller (2024) plantea una perspectiva futurista del metaverso, señalando la necesidad de estandarización para una adopción más amplia en entornos colaborativos. En el ámbito educativo, Santos et al. (2023) exploran cómo el IoT puede servir como catalizador en la implementación de estrategias STEAM, promoviendo la ciudadanía participativa entre estudiantes a través de proyectos de ciencia ciudadana.

Además de estas perspectivas técnicas y educativas, otros documentos abordan aplicaciones prácticas en sectores específicos, como la manufactura y la gestión ambiental. Los estudios también muestran cómo la integración de tecnologías disruptivas, como IA y realidad aumentada, abre nuevas oportunidades para la resolución de problemas globales. Por ejemplo, el análisis de Chen et al. (2021) sobre los kits interactivos en clases de robótica destaca cómo estas herramientas pueden incrementar la participación femenina en campos tecnológicos. En conjunto, los documentos revelan un panorama multidisciplinario en el que la intersección de tecnologías como el IoT, el metaverso y la IA está remodelando tanto los procesos industriales como los educativos, permitiendo una mayor participación ciudadana y la generación de soluciones innovadoras para desafíos contemporáneos.

CONCLUSIONES

La convergencia entre los gemelos digitales y el IoT es particularmente relevante en las aplicaciones industriales, donde los gemelos digitales juegan un papel esencial; por ende, al integrar estos gemelos en los sistemas de IoT en entornos industriales, se logra una mejora notable en la capacidad de monitorear y gestionar procesos de manufactura en tiempo real. Esta combinación permite implementar un mantenimiento predictivo y detectar fallos de manera eficiente, facilitando además la comunicación entre máquinas mediante redes distribuidas, ofreciendo no solo un intercambio de datos seguro, sino también optimizando la eficiencia operativa (Khan et al., 2022).

Los gemelos digitales humanos (HDT) han surgido como una herramienta cada vez más importante, ya que permiten un monitoreo personalizado; de este modo, permite seguir aprendizajes en tiempo real (El Saddik et al., 2021). Este tipo de tecnología facilita la recolección de datos instantáneos, lo que se traduce en tratamientos más personalizados más efectivos, revolucionando el campo de la educación médica.

El potencial de los gemelos digitales también abarca el ámbito educativo, en particular los entornos STEAM, donde las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada y la realidad virtual, juegan un rol crucial; de modo que no solo permiten el aprendizaje colaborativo y remoto, sino que también ofrecen una plataforma interactiva donde los estudiantes pueden experimentar con simulaciones científicas complejas y modelos tridimensionales (Kravč ík et al., 2018).

En lo concerniente al metaverso, se comprende como un área en la que convergen los gemelos digitales y el IoT con la educación STEAM, en donde los estudiantes pueden interactuar con modelos tridimensionales de fenómenos complejos, lo que les proporciona una experiencia inmersiva que facilita una comprensión más profunda de los temas; este tipo de aprendizaje, combinado con la gamificación, ha demostrado mejorar el compromiso de los estudiantes y aumentar la retención en las materias STEAM, cerrando así la brecha entre la teoría y la práctica (Jamshidi et al., 2023).

No obstante, aunque el aprendizaje impulsado por IoT tiene un potencial considerable, existen varios retos, como problemas de escalabilidad, seguridad y la brecha digital; por ende, a medida que los sistemas IoT se integran cada vez más en las plataformas educativas, asegurar la privacidad y seguridad de los datos se vuelve una cuestión fundamental, especialmente en entornos donde la transferencia de datos en tiempo real entre dispositivos es crucial; adicionalmente, se considera que la brecha digital sigue siendo un desafío importante, ya que los estudiantes en comunidades rurales o marginadas a menudo carecen del acceso a la infraestructura necesaria para participar en estas avanzadas experiencias educativas (Alcaraz & Lopez, 2022; Kravč ík et al., 2018).

Acorde con lo planteado, se resalta que la convergencia de los gemelos digitales, el IoT y el metaverso en el contexto del aprendizaje STEAM, puede ofrecer un futuro prometedor para la educación; de modo tal que la integración de estas tecnologías permite a los educadores

crear entornos interactivos e inmersivos que aumentan el compromiso estudiantil y promueven el desarrollo del pensamiento crítico; no obstante, es fundamental abordar los desafíos relacionados con la seguridad, la escalabilidad y la accesibilidad para garantizar la adopción generalizada de estas tecnologías en las aulas.

La fusión de tecnologías inmersivas y digitales ha permitido lograr avances significativos, particularmente en los ámbitos industrial y educativo.

Tendencias Emergentes

Gemelos Digitales en el Metaverso: La implementación de gemelos digitales en el metaverso facilita la recreación de sistemas ciberfísicos, lo que permite analizar y evaluar procesos productivos en tiempo real. Esta capacidad es especialmente relevante en la industria, donde la interacción entre estos sistemas y los activos digitales optimiza los procesos de manufactura bajo condiciones controladas y dinámicas (Guiffo Kaigom, 2024).

Convergencia de Realidad Aumentada y Realidad Virtual: Las tecnologías inmersivas, como la realidad aumentada y la realidad virtual, proporcionan una experiencia más cercana a la realidad en entornos industriales, mejorando tanto la interfaz de usuario como las capacidades de entrenamiento. Estas tecnologías son esenciales para reducir la distancia entre la interacción humana y los entornos virtuales, promoviendo un enfoque más centrado en las personas dentro de la Industria 5.0 (Aliyu et al., 2024).

Impacto del IoT en la Educación y el Metaverso: La combinación del IoT y el metaverso en el ámbito educativo ha facilitado la creación de plataformas más interactivas y conectadas, que estimulan la participación de los estudiantes en entornos de aprendizaje virtual. Estas plataformas no solo enriquecen la experiencia educativa, sino que también impulsan el desarrollo de habilidades clave en áreas STEM (Martínez-Gutiérrez et al., 2024).

Desafíos

Infraestructura Tecnológica: Para implementar el metaverso a nivel industrial, es indispensable contar con una infraestructura robusta que permita la interoperabilidad entre diferentes sistemas y tecnologías. La hiperconectividad es un factor clave para garantizar un entorno colaborativo en las industrias 4.0 y 5.0, donde los sistemas ciberfísicos, los gemelos digitales y el IoT juegan roles fundamentales (Guiffo Kaigom, 2024).

Seguridad y Privacidad en el Metaverso: Con el incremento de la hiperconectividad y la integración de diversas tecnologías, surgen retos relacionados con la ciberseguridad y la protección de datos. Abordar estos aspectos es esencial para garantizar la adopción sostenible y a largo plazo de estas tecnologías (Aliyu et al., 2024).

Declaración de conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta investigación.

Declaración de Contribuciones de los Autores

Lubeimar Eduardo Gallego Ruiz: Conceptualization (Conceptualización), Methodology (Metodología), Software, Investigation (Investigación). Data Curation (Curación de datos), Formal Analysis (Análisis formal), Visualization (Visualización), Writing – Original Draft (Redacción del borrador original), Project Administration (Administración del proyecto)

Richard de Jesús Gil Herrera: Methodology (Metodología), Validation (Validación), Formal Analysis (Análisis formal), Writing – Review & Editing (Revisión y edición), Supervisión (Supervisión), Resources (Recursos)

Edwin Eduardo Millán Rojas: Methodology (Metodología), Validation (Validación) Formal Analysis (Análisis formal), Investigation (Investigación), Writing – Review & Editing (Revisión y edición), Supervisión (Supervisión), Resources (Recursos)

Lucelly Correa Cruz: Investigation (Investigación), Data Curation (Curación de datos), Visualization (Visualización), Writing – Review & Editing (Revisión y edición), Resources (Recursos).

Declaración de uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que utilizaron la inteligencia artificial como apoyo para este artículo, y también que esta herramienta no sustituye de ninguna manera la tarea o proceso intelectual. Después de rigurosas revisiones con diferentes herramientas en la que se comprobó que no existe plagio, los autores manifiestan y reconocen que este trabajo fue producto de un trabajo intelectual propio.

Funding Acquisition (Obtención de financiación):

Los autores declaran que no hubo financiación externa específica para el desarrollo de esta investigación.

Declaración de aprobación:

Todos los autores contribuyeron significativamente al desarrollo de la investigación, revisaron críticamente el manuscrito, aprobaron la versión final y aceptan la responsabilidad por el contenido publicado.

REFERENCIAS

- Alex, S. A., and J. J. V. Nayahi, “Deep incremental learning for big data stream analytics,” in Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, A. P. Pandian et al., Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2020, pp. 600–614, doi: 10.1007/978-3-030-24643-3_72. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-24643-3_72
- Alcaraz, C., and J. Lopez, “Digital twin: A comprehensive survey of security threats,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 24, no. 3, pp. 1475–1503, 2022, doi:

10.1109/COMST.2022.3181022. Disponible en:

<https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3171465>

Al-Ghareeb, K., A. Tabbal, and K. Shaltout, "The potential of digital twins in STEAM education," IEEE Access, vol. 11, pp. 89765–89778, 2023.

Aliyu, I., S. Oh, N. Ko, T. W. Um, and J. Kim, "Dynamic partial offloading for metaverse in grid computing," IEEE Access, vol. 12, pp. 11615–11627, 2024, doi:

10.1109/ACCESS.2023.3344817. Disponible en:

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3344817>

Bonales-Daimiel, G., B. Moreno-Albarracín, and A. García-Rivero, "Children's behavior at metaverses: Interactions, digital identities, and parents' perceptions," Online Journal of Communication and Media Technologies, vol. 14, no. 2, e202418, 2024, doi:

10.30935/ojcm/14338. Disponible en: <https://doi.org/10.30935/ojcm/14338>

Burbaité, R., and D. Gudoniené, "Integration of IoT concepts into STEAM-driven computer science education," in The Internet of Things for Education. Cham, Switzerland:

Springer, 2021, pp. 63–75, doi: 10.1007/978-3-030-85720-2_5. Disponible en:

https://doi.org/10.1007/978-3-030-85720-2_5

Caggianese, G., L. Sabatucci, A. Augello, and L. Gallo, "The MetaMetaverse: Ideation and future directions," Future Internet, vol. 15, no. 12, Art. no. 394, 2023, doi:

10.3390/fi15120394. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/fi15120394>

Caprotti, F., S. E. Bibri, and Z. Allam, "Platformization and the metaverse: Opportunities and challenges for urban sustainability and economic development," Smart Cities, vol. 3, no.

4, pp. 1155–1172, 2023, doi: 10.3390/smartcities3040022. Disponible en:

<https://doi.org/10.4108/ew.3842>

Chen, C. Y., and Y. C. Lin, "Girls in robot class: Smart textiles interactive tool-kits to enhance the participation of women in technology," in Learning and Collaboration Technologies.

- Cham, Switzerland: Springer, 2017, pp. 134–147, doi: 10.1007/978-3-319-58515-4_11.
Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58515-4_11
- Cheng Shi, C., C.-C. Chang, E. Al-Masri, A. C. H. Chen, H. Wang, Q. Zhang, H.-T. Tseng, K. Shankar, and T. Kim, “The 3rd International Workshop on Deep Learning for the Web of Things,” in Companion Proceedings of the ACM Web Conference 2023, ACM, 2023, pp. 1–5, doi: 10.1145/3543873.3589744. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3543873.3589744>
- Chung, C. C., C. L. Lin, and S. J. Lou, “Analysis of the learning effectiveness of the STEAM-6E special course,” *Sustainability*, vol. 10, no. 9, Art. no. 3040, 2018, doi: 10.3390/su10093040. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su10093040>
- Guiffo Kaigom, E., “Metaverse potential for robotic applications in Industry 4.0 and 5.0,” *Procedia Computer Science*, vol. 232, pp. 1829–1838, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.02.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.005>
- Han, Z., H. Qi, L. Wang, M. I. Menhas, and M. Fei, “Water level control of nuclear power plant steam generator,” in ICSEE/IMIOT 2018. Singapore: Springer, 2018, pp. 14–23, doi: 10.1007/978-981-13-2381-2_2. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2381-2_2
- He, N., K. Ding, and J.-B. Zhang, “Exploration and research on digital education scenarios from the perspective of metaverse,” in Proc. ICOT, IEEE, 2022, doi: 10.1109/ICOT56925.2022.10008167. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICOT56925.2022.10008167>
- Hou, K. M., X. Diao, H. Shi, H. Ding, H. Zhou, and C. de Vaulx, “Trends and challenges in AIoT/IIoT/IIoT implementation,” *Sensors*, vol. 23, no. 11, Art. no. 5074, 2023, doi: 10.3390/s23115074. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s23115074>

- Jamshidi, M., S. Sargolzaei, S. Foorginezhad, and O. Moztarzadeh, "Metaverse and microorganism digital twins," *Applied Soft Computing*, vol. 147, Art. no. 110798, 2023, doi: 10.1016/j.asoc.2023.110798. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110798>
- Khan, L. U., Z. Han, W. Saad, D. Niyato, and C. S. Hong, "Digital Twin of Wireless Systems: Overview, Taxonomy, Challenges, and Opportunities," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 4, pp. 2230–2254, 2022, doi: 10.1109/COMST.2022.3198273. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3198273>
- Kravčík, M., C. Ullrich, and C. Igel, "The potential of the Internet of Things for supporting learning," in *Positive Learning in the Age of Information*. Cham, Switzerland: Springer, 2018, pp. 399–412, doi: 10.1007/978-3-030-51968-1_4. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-51968-1_4
- Kuo, H.-T., and T.-M. Choi, "Metaverse in transportation and logistics operations," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 185, Art. no. 103496, 2024, doi: 10.1016/j.tre.2024.103496. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103496>
- Li, H., and B. Li, "The state of metaverse research: A bibliometric visual analysis based on CiteSpace," *Journal of Big Data*, vol. 11, Art. no. 14, 2024, doi: 10.1186/s40537-024-00877-x. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40537-024-00877-x>
- Murala, D. K., "METAEDUCATION: State-of-the-art methodology for empowering feature education," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 57995–58019, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3391903. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3391903>

- Nguyen, H., A. Hussein, M. A. Garratt, and H. A. Abbass, "Swarm metaverse for multi-level autonomy using digital twins," *Sensors*, vol. 23, no. 10, Art. no. 4892, 2023, doi: 10.3390/s23104892. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/s23104892>
- Polyviou, A., and I. O. Pappas, "Chasing metaverses," *Information Systems Frontiers*, vol. 25, pp. 2417–2438, 2023, doi: 10.1007/s10796-022-10364-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10364-4>
- Qu, Q., et al., "The Microverse: A task-oriented edge-scale metaverse," *Future Internet*, vol. 16, Art. no. 60, 2024, doi: 10.3390/fi16020060. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/fi16020060>
- Sabatucci, L., A. Augello, G. Caggianese, and L. Gallo, "Envisioning digital practices in the metaverse," *Future Internet*, vol. 15, Art. no. 394, 2023, doi: 10.3390/fi15120394. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/fi15120394>
- Santos, M., V. Carlos, and A. A. Moreira, "Towards interdisciplinarity with STEAM educational strategies," *Educational Media International*, vol. 60, no. 3–4, pp. 274–291, 2023, doi: 10.1080/09523987.2023.2324581. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09523987.2023.2324581>
- Sharma, N., and N. Jindal, "Emerging AI applications: Metaverse, IoT, cybersecurity," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 83, pp. 57317–57345, 2024, doi: 10.1007/s11042-023-17890-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17890-6>
- Shi, L., and H. Zhu, "User data privacy protection algorithms in metaverse based on emotional AI," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–18, 2024, doi: 10.2478/amns.2023.2.00636. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/amns.2023.2.00636>

Yao, X., et al., “Enhancing wisdom manufacturing as industrial metaverse,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 35, no. 1, pp. 235–255, 2024, doi: 10.1007/s10845-022-02027-7.

Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10845-022-02027-7>

Zhou, X., et al., “Personalized federated learning for multimodal user modeling,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 42, no. 4, pp. 817–834, 2024, doi:

10.1109/JSAC.2023.3345431. Disponible en:

<https://doi.org/10.1109/JSAC.2023.3345431>