Edición
14
ISSN: 2953-769X

SOSTENIBILIDAD DE LAS
ORGANIZACIONES INTELIGENTES DESDE LA

5ta REVOLUCIÓN INDUSTRIAL



REVISTA SEMESTRAL

Somos esencial® COSTA RICA

RAI | Universidad San Marcos
Revista Académica Institucional

San Marcos

ACADEMIA

En esta sección podrás encontrar artículos académicos y artículos científicos de la comunidad universitaria en general, los cuales son originales, y describe resultados experimentales, nuevos conocimientos o experiencias basadas en hechos conocidos de sus autores.



Universidad San Marcos
Revista Académica Institucional
Edición 14, Volumen 8 ISSN: 2953-769X pp. 22-34 Enero - Junio, 2026

GEMELOS DIGITALES, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA ÚLTIMA FRONTERA DE LA INDUSTRIA 4.0

Dania Valentina Carreño, *daniacarrenocmbs@gmail.com*
Universitaria de Colombia, Bogotá, Colombia
Código ORCID: *https://orcid.org/0009-0003-1646-1709*

Ángelo Manuel Guevara Páez, *angelomanuelg@hotmail.com*
Universitaria de Colombia, Bogotá, Colombia
Código ORCID: *https://orcid.org/0009-0005-4682-523X*

Oscar Fabio Rendón Ángel, *fabioreondonangel@gmail.com*
Universitaria de Colombia, Bogotá, Colombia
Código ORCID: *https://orcid.org/0009-0005-0931-9418*

DOI: *https://doi.org/10.64183/q9xx5g03*

Recibido: ***11 de agosto de 2025***
Aceptado: ***10 de noviembre de 2025***

Resumen. Este artículo explora cómo la tecnología ha sido históricamente una extensión del desarrollo biológico e intelectual humano. Se analiza el papel transformador de los gemelos digitales en la Industria 4.0 y su proyección hacia la Industria 5.0, destacando su capacidad para optimizar procesos mediante simulaciones virtuales precisas, aplicaciones, ventajas estratégicas y desafíos para su implementación. Estas representaciones digitales conectadas a objetos físicos permiten anticipar fallos y mejorar el diseño, la producción y el mantenimiento. Aunque ofrecen ventajas en costos, tiempo y personalización, enfrentan retos en conectividad, seguridad, infraestructura y capacitación. La revisión demuestra que la convergencia entre estas tecnologías representa un cambio de paradigma en la forma en que se diseñan, operan y optimizan los sistemas productivos modernos. Asimismo, se abordan consideraciones éticas, técnicas y organizativas para su adopción efectiva.

Palabras clave. Gemelo Digital, Industria 4.0, Simulación Virtual, Tecnologías Facilitadoras, Inteligencia Artificial.

CC BY-NC-ND

DIGITAL TWINS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND THE FINAL FRONTIER OF INDUSTRY 4.0

Dania Valentina Carreño, *daniacarrenocmbs@gmail.com*
Ángelo Manuel Guevara Páez, *angelomanuelg@hotmail.com*
Oscar Fabio Rendón Ángel, *fabioreondonangel@gmail.com*

Received: ***August 11, 2025***
Accepted: ***November 10, 2025***

Abstract. This article explores how technology has historically been an extension of human biological and intellectual development. It analyzes the transformative role of digital twins in Industry 4.0 and their projection into Industry 5.0, highlighting their capacity to optimize processes through precise virtual simulations, their applications, strategic advantages, and implementation challenges. These digital representations connected to physical objects allow for anticipating failures and improving design, production, and maintenance. Although they offer advantages in cost, time, and customization, they face challenges in connectivity, security, infrastructure, and training. The review demonstrates that the convergence of these technologies represents a paradigm shift in the way modern production systems are designed, operated, and optimized. It also addresses ethical, technical, and organizational considerations for their effective adoption.

Keyword. Digital Twin, Industry 4.0, Virtual Simulation, Enabling Technologies. I.A.

1. INTRODUCCIÓN

La revolución industrial ha experimentado distintas etapas a lo largo de la historia, cada una marcada por innovaciones tecnológicas que transformaron la producción y la economía global. En la actualidad, nos encontramos en la llamada cuarta revolución industrial o Industria 4.0 y 5.0 una fase caracterizada por la digitalización de los procesos productivos, la automatización avanzada, el uso intensivo de datos, la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT) y los gemelos digitales.

Entre estas tecnologías, los gemelos digitales han ganado especial atención por su capacidad de representar digitalmente activos físicos en tiempo real, permitiendo simular, monitorear y optimizar procesos con una precisión sin precedentes. Su valor estratégico se multiplica al integrarse con sistemas de inteligencia artificial, que proporcionan capacidades analíticas y predictivas que enriquecen el ciclo de vida del producto, mejoran la toma de decisiones y anticipan posibles fallas o ineficiencias operativas.

La combinación entre gemelos digitales e inteligencia artificial no solo mejora la eficiencia y calidad en los procesos industriales, sino que redefine el concepto mismo de producción, pasando de modelos reactivos a sistemas inteligentes, autónomos y adaptativos. Esta sinergia representa lo que muchos consideran la "última frontera" de la Industria 4.0: un entorno en el que la realidad física y la virtual se fusionan para crear fábricas conectadas, resilientes y auto optimizadas. Una definición más detallada puede ser: "un gemelo digital es, esencialmente, un modelo virtual de un objeto físico que permite a las empresas tecnológicas avanzar hacia nuevas etapas de desarrollo y aumentar su competitividad en el mercado [6]. Esta tecnología se utiliza cada vez más en diversas industrias para optimizar procesos de producción y gestión" (Bustamante Limones, Rodriguez Borges & Pérez Rodriguez, 2024).

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo analizar desde una perspectiva bibliográfica el papel que juegan los gemelos digitales y la inteligencia artificial como impulsores clave de la Industria 4.0. Se abordarán sus fundamentos conceptuales, principales aplicaciones, ventajas competitivas y retos asociados a su implementación, proporcionando una visión crítica y actualizada del estado del arte en esta convergencia tecnológica. El artículo se estructura en secciones dedicadas a la introducción, los materiales y métodos empleados, los resultados obtenidos, la discusión de los hallazgos, las conclusiones y las referencias bibliográficas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

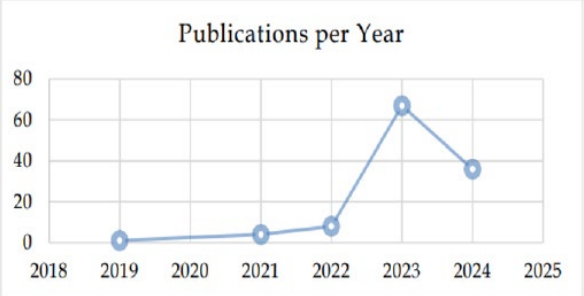
El diseño de investigación corresponde a una revisión sistemática descriptiva, donde se analizaron fuentes secundarias de datos tres bibliotecas digitales: Sage Jornals, Scopus y EBSCO. El nivel de investigación es exploratorio, dado que busca identificar tendencias emergentes y áreas de oportunidad en el uso de gemelos digitales dentro de la Industria 4.0 y 5.0 en unión con la inteligencia artificial.

Se seleccionaron sistemáticamente los títulos, resúmenes y textos completos de los artículos disponibles para seleccionar estudios que se ajustaran a las preguntas de investigación. La fase inicial de selección consistió en la eliminación de duplicados en las bases de datos de búsqueda y, posteriormente, la lectura de los resúmenes para descartar artículos no relevantes. A continuación, se realizó una lectura exhaustiva de los textos completos para identificar los estudios más relevantes para una síntesis y un análisis exhaustivos.

3. RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

La distribución de publicaciones por año demuestra el creciente interés en las tecnologías de gemelos digitales y sus aplicaciones en diversos ámbitos industriales. Esta tendencia destaca una importante actividad de investigación en los últimos años, lo que refleja la naturaleza evolutiva de la Industria 4.0 y 5.0, en unión con la IA.

Figura 1. *Número de publicaciones por año*



Fuente: Elaboración propia (2025).

Se encuentra desde décadas atrás la historia relacionada con el aumento de tecnología, como a Marx, en los Manuscritos económicos y filosóficos de 1844, al describir el desarrollo de la industria- hombre, afirmando que la industria es la verdadera antropología.

La sociedad industrial- tecnológica no es algo negativo en sí mismo, como afirman los anarco- primitivistas, sino una etapa evolutiva particular de la humanidad, que no ha sido plenamente comprendida por la propia humanidad y que, por tanto, produce alienación.

Así como la mano desarrolla el cerebro, la computadora mejora el cerebro, fusionándose cada vez más con él. Un conjunto de computadoras acopladas a un conjunto de cerebros produce un cerebro social biotecnológico, y esto produce efectos en

la sociedad que van desde el miedo hasta el asombro.

El desarrollo tecnológico provocará un cambio de paradigma, que ya lo está provocando, y estas afirmaciones no deben confundirse con el "solucionismo tecnológico" que es popular en algunos círculos de Silicon Valley, una nueva religión que ha reemplazado a Dios por la inteligencia artificial.

Eric Schmidt, exdirector ejecutivo de Google, en la cumbre AI+ Energy 2024 en Washington, instó a un mayor desarrollo de la inteligencia artificial, incluso cuando los centros de datos que proporcionan la potencia informática necesaria requieren cada vez más energía, lo que amenaza los objetivos de reducción de las emisiones de carbono (Cubero, 2024).

El concepto de Industria 4.0 hace referencia a la digitalización integral de las actividades industriales mediante el uso de tecnologías como el internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial, el big data y la automatización avanzada. Este enfoque busca lograr una producción más flexible, eficiente y personalizada.

Los gemelos digitales son representaciones virtuales en tiempo real de un objeto, sistema o proceso físico. Según la NASA, esta tecnología surgió inicialmente para simular condiciones de vuelo espacial sin necesidad de exposición directa. En palabras de (Bustamante-Limones, Rodriguez-Borges, & Pérez-Rodriguez, 2024) "El concepto de gemelo digital fue definido por primera vez en 2002, por Michael Grieves, Este se refiere a una instancia virtual de activos físicos, capaz de reflejar continuamente dichos activos a través de datos actualizados en tiempo real" Actualmente, se utiliza ampliamente en sectores como la manufactura, la salud, la logística y la energía.

Aunque el nombre inmediatamente evoca una copia digital del ser humano, en realidad estamos hablando de una reproducción virtual de un proceso o servicio real creado a través de datos recogidos por sensores. Podría ser cualquier cosa, desde un automóvil hasta una máquina industrial, un avión, un puente, un edificio, etc. Los gemelos digitales permiten probar y comprender cómo se comportarán los sistemas y productos que se quieren construir en una amplia variedad de entornos a través del espacio virtual y la simulación.

De manera más general, podemos definir un gemelo digital como una tecnología de convergencia multimedia que representa una réplica digital de cualquier entidad física, viva o no. Sí, porque los gemelos digitales también desempeñarán un papel importante en el campo de la salud (Marah & Challenger, 2024).

El gemelo digital (Digital Twin, DT) es una de las tecnologías clave en este contexto. Se trata de una representación virtual de una entidad física, ya sea un objeto, sistema, ser vivo o

incluso una persona, que está conectada a su contraparte física mediante flujos constantes de datos (Marah & Challenger, 2024). Esta conexión puede ser sincrónica (en tiempo real) o asincrónica (en momentos sucesivos), permitiendo simular, monitorear, predecir y optimizar el comportamiento del objeto físico durante todo su ciclo de vida: diseño, fabricación, operación, mantenimiento y eliminación.

Existen distintos tipos de gemelos digitales, clasificados según su función o grado de integración:

1. Prototipo de gemelo digital (DTP): se refiere al modelo virtual utilizado en la fase de diseño y planificación de un producto, antes de que exista físicamente. Contiene toda la información necesaria para fabricar un objeto (Liu & Hou, 2024).
2. Instancia de gemelo digital (DTI): representa un producto físico individual ya existente, conectado al modelo virtual durante todo su ciclo de vida (Huang, 2023).
3. Agregado de gemelos digitales (DTA): consiste en la recopilación de múltiples DTI, que permiten hacer análisis globales sobre el comportamiento de un conjunto de productos (Huang, 2023).
4. Entorno de gemelo digital (DTE): es el entorno multidominio en el que interactúan los distintos gemelos digitales, permitiendo simulaciones avanzadas, predicciones y análisis en múltiples escenarios (Liu & Hou, 2024).

El funcionamiento de los gemelos digitales depende de una serie de tecnologías facilitadoras, también llamadas KETs (Key Enabling Technologies), definidas por la Comisión Europea como tecnologías de alta intensidad en conocimiento e innovación, con impacto transversal en múltiples sectores económicos (Huang, 2023). Estas tecnologías pueden agruparse en tres grandes ejes:

1. Conectividad: uso de sensores y redes IoT que permiten captar datos operativos y ambientales desde el entorno físico. La conectividad asegura que la información fluya entre el objeto real y su gemelo virtual (Isaza Domínguez 2024).
2. Digitalización: procesamiento almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos (Big Data), que permiten generar modelos virtuales actualizados y detallados. Gracias a la reducción de costos en almacenamiento, incluso las pequeñas y medianas empresas (PYMES) pueden acceder a esta tecnología (Bustamante-Limones, Rodriguez-Borges, & Pérez-Rodriguez, 2024).
3. Inteligencia: uso de IA, análisis de datos y aprendizaje automático para dotar

al sistema de capacidades predictivas, prescriptivas y autónomas. La IA permite que los gemelos digitales aprendan de la experiencia y optimicen sus respuestas ante diversas condiciones del entorno (Liu & Hou, 2024).

El modelado y simulación son componentes esenciales del gemelo digital. A través de estas técnicas, se crean modelos digitales de objetos físicos (desde una máquina hasta una línea completa de producción) que interactúan con los datos en tiempo real. Esto permite no solo representar lo que ocurre, sino también predecir fallos, ajustar parámetros operativos y simular futuros escenarios de funcionamiento.

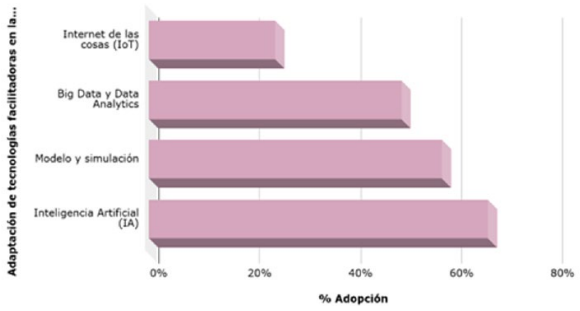
En este contexto, la inteligencia artificial se convierte en el núcleo cognitivo del sistema, gracias a su capacidad para analizar grandes volúmenes de datos, identificar patrones y tomar decisiones, la IA complementa el gemelo digital transformándolo en una herramienta proactiva y adaptativa.

Los algoritmos de IA permiten ejecutar análisis avanzados, como mantenimiento predictivo, optimización de procesos y personalización de productos.

Finalmente, el análisis de datos (data analytics) juega un rol central., ya que, mediante algoritmos y técnicas estadísticas, se interpretan los datos recopilados por los sensores para comprender la evolución del sistema, detectar desviaciones o anomalías, y tomar decisiones fundamentadas con mayor rapidez, precisión y seguridad.

Estos elementos combinados representan el corazón de la Industria 4.0. Según estimaciones recientes, el uso de IoT alcanza una adopción del 67%, seguido por Big Data y análisis de datos (59%), modelado y simulación (50%), y IA (25%), lo cual evidencia el valor creciente de estas tecnologías en el desarrollo de soluciones inteligentes y autónomas para el entorno industrial (Huang, 2023).

Figura 2. *Adopción de tecnologías clave dentro de la Industria 4.0*



Fuente: Elaboración propia (2025).

Para abarcar más con la inteligencia artificial, por su parte, permite a las máquinas imitar funciones cognitivas humanas como el aprendizaje, la percepción y la toma de decisiones. Al integrarse con un gemelo digital, la IA puede mejorar continuamente el modelo virtual mediante aprendizaje automático (machine learning) y análisis predictivo, lo que permite ajustes automáticos,

diagnósticos preventivos y simulaciones más precisas.

La sinergia entre gemelos digitales e IA no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también facilita la manufactura inteligente, la gestión predictiva del mantenimiento, la simulación de escenarios futuros y la toma de decisiones autónomas (Liu & Hou, 2024).

Diversos estudios han documentado cómo los gemelos digitales, potenciados por IA, están revolucionando sectores industriales. En la industria automotriz, por ejemplo, se utilizan para simular pruebas de colisión virtuales antes de la fabricación física del vehículo. En la medicina, permiten modelar órganos humanos para planificar cirugías de manera personalizada (Bustamante Limones, Rodriguez Borges, & Pérez Rodriguez, 2024).

En fábricas inteligentes, un gemelo digital puede modelar toda la planta, monitorear procesos en tiempo real y utilizar algoritmos de IA para detectar anomalías o ineficiencias. Empresas como Siemens, General Electric y Bosch han liderado este tipo de implementaciones.

Algunos de los beneficios clave que ofrece Digital Twin son:

1. Costo, es significativamente más barato construir un modelo digital que uno físico sobre el cual realizar simulaciones (Marah & Challenger, 2024).
2. Tiempo, la velocidad de un modelo de simulación depende de su tamaño, la complejidad y el tipo de tecnología que se utiliza, pero sin duda será cada vez más simulaciones rápidas en un modelo físico (Huang, 2023).
3. Asistencia, pudiendo estar siempre cerca del cliente mejorando el servicio ofrecido (Liu & Hou, 2024).
4. Capacitación de empleados mucho más eficiente, tienen la capacidad de simular y probar cualquier tipo de modificación en cualquier etapa del ciclo de vida, en un entorno virtual con datos que también pueden ser los recogidos en el entorno real, aumentando así la calidad de su formación.
5. Repetitividad, todas las simulaciones y experimentos siempre se pueden repetir al mismo tiempo mismas condiciones gracias al mundo virtual, mientras que, si tienes que hacer simulaciones en un modelo físico, las condiciones en las que se realizarán las distintas pruebas nunca serán las mismas si se repite (Marah & Challenger, 2024).

La revisión de literatura muestra un consenso sobre los beneficios de esta convergencia: reducción de tiempos de inactividad, mejora en la calidad del producto, personalización masiva, y mayor sostenibilidad. Sin embargo, también se identifican limitaciones como la

alta inversión inicial, la necesidad de talento especializado y los riesgos en ciberseguridad.

Aplicaciones del gemelo digital a lo largo del ciclo de vida del producto

El gemelo digital puede implementarse en diversas fases del ciclo de vida de un producto o servicio resumido en los siguientes y presentados por Liu y Hou (2024):

1. Diseño: En esta etapa, permite simular prototipos virtuales utilizando datos reales, lo que mejora la precisión del diseño y ayuda a detectar errores antes de la fabricación. Gracias al IoT, los sensores conectados proporcionan información en tiempo real, fortaleciendo el vínculo entre el diseñador y el entorno físico del producto. Un ejemplo claro es el uso de simulaciones aerodinámicas en la industria automotriz, que reemplazan pruebas físicas costosas como las realizadas en túneles de viento.

2. Producción: Durante la fabricación, el gemelo digital mejora la colaboración entre equipos, optimiza flujos de trabajo, reduce ineficiencias y permite el monitoreo en tiempo real. Esto no solo incrementa la productividad, sino también la calidad final del producto.

3. Posventa: Una vez en manos del cliente, los gemelos digitales permiten configurar y ajustar productos de forma remota, recopilar datos sobre su uso, y anticipar fallos mediante mantenimiento predictivo. De este modo, se reducen los costos de intervención y el tiempo de inactividad en caso de fallas.

Expansión a otros sectores

La utilidad del gemelo digital no se limita a la manufactura. En el sector transporte, permite simular rutas, evaluar condiciones de tráfico y optimizar recursos. En el comercio minorista, se crean gemelos digitales de clientes para estudiar comportamientos de compra y planificar mejor las campañas de marketing y el diseño de las tiendas (Bustamante-Limones, Rodriguez-Borges, & Pérez-Rodriguez, 2024).

En el ámbito de la salud, se desarrollan gemelos digitales de pacientes que permiten personalizar tratamientos y optimizar la atención médica. Por último, en la vivienda inteligente, esta tecnología mejora la eficiencia energética y la calidad de vida mediante automatización, sensores y comandos por voz.

Desafíos actuales para su adopción

A pesar de su potencial, el gemelo digital enfrenta varios desafíos para su implementación generalizada:

1. Conectividad: Requiere conexiones constantes, seguras y de alta velocidad, lo cual puede ser complejo en zonas remotas

o con infraestructura limitada.

2. Hardware y sensores: Cuantos más sensores se integran, mayor es la complejidad de gestión, mantenimiento y recolección fiable de datos.
3. Seguridad de los datos: Los datos generados por los gemelos digitales son activos críticos para las empresas y deben protegerse ante manipulaciones, pérdidas o ataques cibernéticos.
4. Recursos humanos: La adopción exitosa exige personal altamente capacitado. En muchas regiones, esto implica invertir en la formación técnica de los trabajadores para acompañar la transformación digital de las organizaciones (Loor, Álvarez, García, Calle, & Rivadeneira, 2025).

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La revisión de bibliografía confirma que la implementación de gemelos digitales, potenciados por tecnologías como la inteligencia artificial, IoT y Big Data, constituye una transformación profunda en el modelo operativo de las organizaciones (Huang, 2023). Esta herramienta no solo permite replicar sistemas físicos en entornos virtuales, sino que también habilita capacidades predictivas y prescriptivas que impactan directamente en la toma de decisiones.

Uno de los aspectos más relevantes identificados es el potencial del gemelo digital en todas las etapas del ciclo de vida de un producto. Desde el diseño (donde permite realizar simulaciones realistas y detectar errores antes de fabricar), pasando por la producción (optimizando líneas y procesos), hasta la posventa (facilitando mantenimientos remotos, predicción de fallos y mejora de la experiencia del cliente). Esta flexibilidad lo convierte en una herramienta transversal y altamente adaptable.

Además, su aplicación se extiende más allá de la manufactura. Sectores como salud, transporte, retail y vivienda inteligente están integrando gemelos digitales para personalizar servicios, planificar recursos y mejorar la eficiencia operativa. Esta diversidad de usos evidencia que no se trata de una tecnología aislada, sino de una infraestructura digital crítica para la transformación de modelos de negocio en la era 4.0.

Sin embargo, esta innovación presenta desafíos significativos. La conectividad constante, especialmente en zonas remotas, es una barrera técnica. El manejo y mantenimiento de múltiples sensores plantea retos de infraestructura y gestión de datos. La ciberseguridad se vuelve crítica, ya que los datos que manejan los gemelos digitales son activos de alto valor. Finalmente, la falta de personal cualificado y la necesidad de

formación continua limitan su adopción en empresas medianas o pequeñas.

Estos desafíos no son menores, pero tampoco insuperables. La clave está en combinar la inversión tecnológica con una visión estratégica y una gestión del cambio bien estructurada que permita aprovechar gradualmente todo el potencial de estas herramientas.

5. CONCLUSIONES

Los gemelos digitales y la inteligencia artificial representan una convergencia tecnológica que redefine los procesos industriales y de servicios en la Industria 4.0. Su integración no solo permite simular la realidad física, sino también anticipar comportamientos, optimizar procesos y facilitar una toma de decisiones ágil, precisa y basada en datos reales.

A lo largo de esta revisión se ha evidenciado cómo estas tecnologías están siendo aplicadas con éxito en distintas fases del ciclo de vida de los productos: desde el diseño y la producción hasta el servicio posventa. Asimismo, se ha demostrado su potencial en sectores como la salud, el transporte, el comercio minorista y la vivienda inteligente, consolidándose como una herramienta versátil y estratégica.

Sin embargo, la adopción plena de estas soluciones depende de superar una serie de retos técnicos, humanos y económicos. La conectividad robusta, la seguridad de los datos, el hardware adecuado y el capital humano capacitado son factores críticos para el despliegue efectivo de los gemelos digitales. En este sentido, se requiere una visión sistémica que combine infraestructura, políticas organizacionales y educación técnica.

El gemelo digital no es solo una representación virtual: es un sistema vivo que aprende, predice y mejora con el tiempo. Su sinergia con la inteligencia artificial impulsa un nuevo paradigma de producción y gestión, abriendo paso a una nueva frontera tecnológica que no solo transforma industrias, sino también la forma en que entendemos la realidad operativa.

Por lo tanto, los gemelos digitales y la inteligencia artificial se han convertido en motores clave de la Industria 4.0 al integrar simulación avanzada, análisis predictivo y automatización inteligente. Su convergencia permite recrear sistemas físicos en entornos virtuales capaces de anticipar comportamientos, optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones con datos en tiempo real. Gracias a esta sinergia, las organizaciones pueden acelerar el diseño de productos, mejorar la eficiencia operativa y aplicar estas soluciones en sectores como salud, transporte, comercio y vivienda inteligente.

No obstante, su adopción plena requiere superar retos vinculados con la conectividad, la seguridad de los datos, la infraestructura tecnológica y la formación del talento humano. Cuando estos elementos se articulan desde una visión sistémica, los gemelos digitales dejan de ser simples representaciones virtuales para convertirse en sistemas vivos que aprenden, predicen y evolucionan, transformando los modelos de producción y gestión y abriendo una nueva frontera tecnológica dentro de la Industria 4.0.

El análisis de la sinergia entre los gemelos digitales y la inteligencia artificial aporta importantes implicaciones teóricas, al ampliar la comprensión de cómo los modelos virtuales, alimentados por algoritmos predictivos, transforman los sistemas organizacionales en entornos dinámicos, adaptativos y basados en datos. Esta convergencia tecnológica redefine los marcos conceptuales tradicionales sobre gestión, diseño y toma de decisiones, posicionando al gemelo digital como un ente cognitivo capaz de aprender, anticipar y optimizar procesos en tiempo real. Desde una perspectiva metodológica, el estudio evidencia la necesidad de enfoques interdisciplinarios que combinen modelación computacional, análisis de datos, validación experimental y simulaciones iterativas para comprender de manera integral el ciclo de vida de estas tecnologías y su impacto sistémico.

Finalmente, en el ámbito práctico, los hallazgos subrayan su utilidad en la optimización operativa, el mantenimiento predictivo, la aceleración de los procesos productivos y la mejora de la experiencia del usuario en diversos sectores. Para las Ciencias Empresariales, esto se traduce en herramientas estratégicas que fortalecen la eficiencia, la competitividad, la gestión del riesgo y la capacidad de innovación de las organizaciones.

Para las Ciencias de la Educación, estas tecnologías ofrecen nuevas oportunidades para diseñar entornos de aprendizaje inmersivos, simulaciones formativas y sistemas inteligentes que personalizan la enseñanza. En conjunto, los resultados del estudio permiten concluir que la integración de gemelos digitales e IA no solo impulsa la evolución de la Industria 4.0, sino que abre una ruta transformadora para la investigación y la práctica profesional en campos empresariales y educativos, consolidándose como un eje esencial del desarrollo tecnológico contemporáneo.

6. CITAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bustamante Limones, A., Rodriguez Borges, C., & Pérez Rodriguez, J. A. (2024). Evaluación del uso de gemelos digitales en los sistemas de producción. AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería, 12(3), 195-204.

Bustamante Limones, A., Rodriguez Borges, C., & Pérez Rodriguez, J. A. (2024). Evaluación del uso de gemelos digitales en los sistemas de producción. AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería, 12(3), 195-204.

Caracciolo, L. (Director). (2023, abril 18). La inteligencia no es artificial [Video]. YouTube. *https://www.youtube.com/watch?v=XXXXXXXX*

Cheng, Y., Liu, H., Qi, Q., & Tao, F. (2025). Consensus strategies of manufacturing service collaboration in digital twin shop-floor. International Journal of Production Research, 1-17.

Huang, J. (2023). Digital engineering transformation with trustworthy AI towards industry 4.0: emerging paradigm shifts. Journal of Integrated Design and Process Science, 26(3-4), 267-290.

Isaza Domínguez, L. (2024).Digital Twins in Industry 5.0 –a systematic literatura review[Gemelos Digitales en la Industria 5.0 –una Revisión Sistemática de Literatura]. European Public& Social Innovation Review,9, 1-21

Leroi-Gourhan, A. (1964). El gesto y la palabra (Vol. 1). Taurus.

Liu, Y., & Hou, J. (2024). Digital Industry transformation strategy analysis and decision-based on intelligent decision technology. Intelligent Decision Technologies, 18(3), 2389-2406.

Loor, R. A. M., Álvarez, K. A. V., García, M. J. L., Calle, V. A. L., & Rivadeneira, D. D. C. (2025). Aplicación de la inteligencia artificial en planificación de obras civiles: Un análisis textual discursivo. Código Científico Revista de Investigación, 6(E1), 768-787.

Marah, H., & Challenger, M. (2024). Adaptive hybrid reasoning for agent-based digital twins of distributed multi-robot systems. Simulation, 100(9), 931-957.

Marx, K. (2007). Manuscritos económicos y filosóficos de 1844 (V. Astorio, Trad.). Alianza Editorial. (Trabajo original publicado en 1844)

Novack, J. (2019, November). Digital twins and industry 4.0: Videogamers will staff and manage industrial projects in the near future. In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference (p. D031S080R002). SPE.

Zhu, X., Liao, B., Shen, Y., & Kong, M. (2025). Towards Industry 5.0: digital twin-enhanced approach for dynamic supply chain rescheduling with real-time order arrival and acceptance. International Journal of Production Research, 1-23.