Negotium
Revista Científica Electrónica de negocios / Scientific e-journal of Human Sciences /
Depósito Legal PPX200502ZU1935 / Depósito Legal Electrónico ZU2021000155/ ISSN 1856-1810 / e-ISSN: 2790-6183/ Edited by Fundación Unamuno / Venezuela.
Quintero, Miguel; Robayo, Andrés; Riveros, Oscar; Salas, José. (2024)
GEMELOS DIGITALES EN LA GESTIÓN DE OPERACIONES
www.revistanegotium.com núm. 58 (Año 20) Pág 34-46

DIGITAL TWINS IN OPERATIONS MANAGEMENT

GEMELOS DIGITALES EN LA GESTIÓN DE OPERACIONES






Quintero, Miguel[1] Robayo, Andrés[2] Riveros, Oscar[3] Salas, José[4]

RESUMEN
El propósito del artículo fue analizar el impacto de los gemelos digitales en la gestión de operaciones de cadenas de suministro complejas. Usos como el mantenimiento predictivo y la toma de decisiones han probado incrementar la productividad y eficacia en la producción y logística. Sin embargo, obstáculos como la interoperabilidad de los sistemas, protección de los datos y el costo inicial restringen su ejecución. Metodológicamente, se utilizó la base de datos Scopus para identificar investigaciones relevantes entre 2012 y 2024. Consecuentemente, los hallazgos destacan las aplicaciones en optimización, mantenimiento predictivo y toma de decisiones basadas en datos.
Palabras clave: Gemelos digitales, DT en gestión de operaciones, Industria 4.0, Cadenas de suministros complejas.

ABSTRACT
The purpose of the article was to analyze the impact of digital twins on the management of complex supply chain operations. Uses such as predictive maintenance and decision making have proven to increase productivity and efficiency in production and logistics. However, obstacles such as system interoperability, data protection and initial cost restrict their implementation. Methodologically, the Scopus database was used to identify relevant research between 2012 and 2024. Consequently, the findings highlight applications in optimization, predictive maintenance and data-driven decision making.
Key words: Digital twins, DT in operations management, Industry 4.0, Complex supply chains.

Fecha de recepción: 21-03-2023
Fecha de aprobación: 07-07-2024
Fecha de publicación online: 08-07-2024

DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.15558361

[1] Tecnólogo en mecánica automotriz UECCI, correo institucional: miguela.quinteroc@ecci.edu.co Participante del pregrado en ingeniería mecánica en la universidad ECCI Colombia. https://orcid.org/0009-0005-7195-0358
[2] Tecnólogo en Diseño e Integración de Automatismos Mecatrónicos con enfoque en integración de tecnologías de la industria 4.0; desarrollador de proyectos en el marco de la formación y participación en diversos cursos de la misma temática. adrobayo80@soy.sena.edu.co, https://orcid.org/0009-0004-7367-8549
[3] Profesional en el área de la ingeniería Mecánica, Maestría en Ingeniería de sistemas industriales Enim (Francia). Especialista en la Implementación de sistemas PLM (Gestión del Ciclo de Vida del Producto). oriveroosa@sena.edu.co, https://orcid.org/0009-0005-7501-2297
[4] Ingeniero Mecánico e Industrial con Maestría en Gerencia de Mantenimiento y Doctorado en Ciencias de la Educación. Profesor, Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Cafam - Universidad ECCI jsalash@ecci.edu.co, https://orcid.org/0000-0002-6601-2720

INTRODUCCIÓN

La tecnología digital es una herramienta crucial para implantar el paradigma de la producción inteligente, ya que ofrece un gran potencial para abordar con eficacia el complejo reto de armonizar la información y su integración física en la producción inteligente (Wang et al., 2024).

En ese orden de ideas, un Gemelo Digital, o un (DT), como indican sus iniciales en inglés (Digital Twin), representa aquella copia o modelo virtual de cualquier entidad física (gemelo físico), ambas interconectadas mediante el intercambio de datos en tiempo real (Singh, et al., 2021).

Al respecto, Grieves (2014) plantea que el modelo conceptual de Gemelo Digital contiene tres partes principales: La primera siendo así como aquellos productos físicos en el espacio real, la segunda como los productos virtuales en el espacio virtual y, la última de estas partes como, las conexiones de datos e información que conectan el espacio físico y el virtual. En resumidas cuentas, un gemelo digital permite imitar el estado de su gemelo físico en tiempo real y viceversa.

En los últimos años, los gemelos digitales desempeñan un papel fundamental en la 4ª revolución industrial, ya que esta tecnología autoriza combinar la tecnología de la información y la tecnología operativa para crear un nuevo valor al vincular la fase de producción preparatoria con la producción real (Grieves, 2014).

Esta interacción de datos reales con modelos virtuales ha abordado los desafíos que existen en las cadenas de suministros complejas en la actualidad. Precisamente por ello, estas innovaciones destacan en el ámbito de gestión de operaciones, ya que prometen transformar la manera en que las empresas manufactureras y de logística gestionan sus procesos de productividad.

Pero ¿hasta qué punto los gemelos digitales como herramientas emergentes contribuyen en la productividad y eficiencia en cadenas de suministro complejas? Considerando los supuestos anteriores, este artículo busca analizar el impacto de los gemelos digitales en la gestión de operaciones de cadenas de suministros complejas.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

GEMELOS DIGITALES

Los gemelos digitales (DT) pueden definirse como una réplica del sistema de producción físico real en un modelo digital, que se utiliza para la optimización,

supervisión, diagnóstico y pronóstico del sistema mediante la integración de inteligencia artificial, aprendizaje automático y análisis de software con un gran volumen de datos de sistemas físicos (Grieves, 2014). Desde la perspectiva de Varas, et al., (2020):

> "Un gemelo digital se define como la creación de una réplica virtual, a imagen y semejanza de un producto, proceso o sistema tangible, al cual se le vinculan datos en tiempo real que pueden ser captados mediante sensores o de otros recursos tecnológicos asociados con el Big Data". (pp.300, 308).

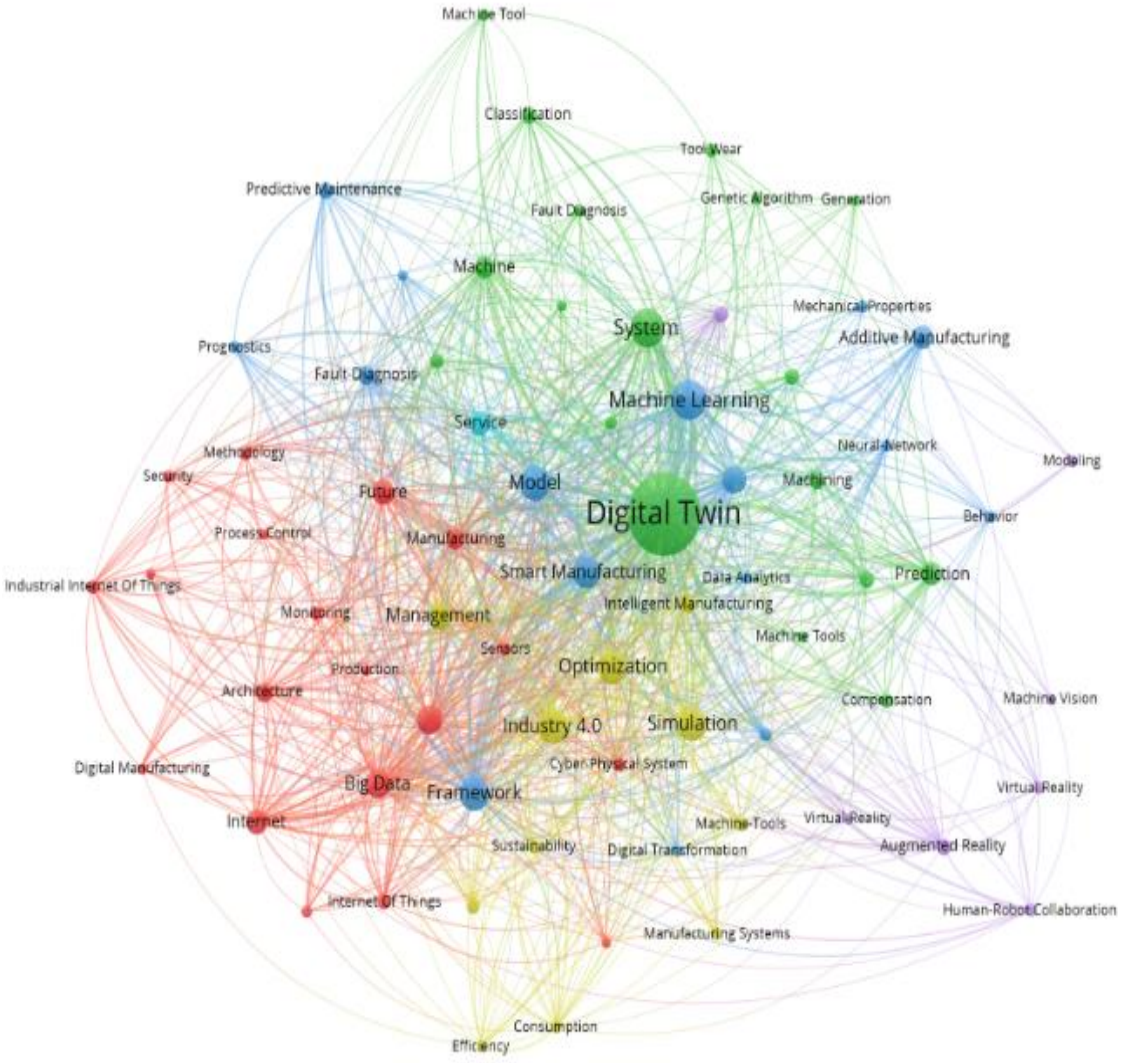
Para, Julien y Martin (2021), un DT es un modelo vivo que evoluciona con su homólogo real, el entorno a lo largo de toda su vida (y más allá) y también puede actuar sobre él. Este gemelo digital (DT) se basa en un gran número de datos recopilados en tiempo real que perfilan el comportamiento histórico y real del objeto con el fin de optimizar sus prestaciones.

Entonces, un DT es una representación virtual dinámica de un objeto, físico o no, como un producto, un sistema o un proceso. Esta representación se mejora y evoluciona junto con el objeto a través de un hilo digital en tiempo real. De hecho, el DT puede ser accesible a través de varias ubicaciones con varios estados o varias versiones que garantizan la coherencia numérica (Julien y Martin, 2021).

Por otro lado, en concordancia con Grieves (2014), menciona los 7 usos de un gemelo digital como: análisis (supervisión, control, regulación, etc.), simulación (gestión, diseño, mejora del rendimiento, etc.), optimización (para un producto, un proceso, un puesto de trabajo, entre otros), cognición (para predecir situaciones o riesgos futuros), colaboración (con humanos, sistemas, otros DT, fábricas, entre otros), comparación (entre la situación prevista y la real, para la ayuda a la decisión y la adaptación) y, finalmente, conceptualización (traducción de una información simbólica para comunicarse con humana).

Asimismo, se debe mencionar brevemente las otras tecnologías que están vinculadas con los gemelos digitales como *Internet of Things* (IoT), sensores y dispositivos IoT, inteligencia artificial (IA), Big data, y análisis de data, que permiten la gestión, el estudio predictivo, proceso de toma de decisiones y almacenaje de información (Javaid et al. 2023). En ese sentido, en la figura 1 se muestra un mapeo de la contribución de las palabras clave de la fabricación inteligente posibilitada por el DT.

Figura 1. Mapeo de la contribución de las palabras clave de la fabricación inteligente posibilitada por el DT.



Fuente: Adaptado de “Digital Twins Enabling Intelligent Manufacturing: From Methodology to Application”, p.10007, por Hu et al., 2024, *Intelligent and Sustainable Manufacturing*. 1(1).

Por otro lado, Jiang et al. (2021) abordan los aspectos técnicos de DT, incluyendo:

Componentes: Sistema de entidades físicas, modelos virtuales, conexiones físico-digitales, datos y servicios.

Modelización: Impulsado por modelos multifísicos, multiescala y de sistemas híbridos; abarcando el modelo virtual con los aspectos de las entidades físicas (como componentes individuales hasta los productos) y las dinámicas a nivel funcional y de comportamiento (diseño generativo, evaluación del rendimiento en línea, mantenimiento predictivo y otros servicios adicionales).

Interacción: Conexiones bidireccionales entre los espacios físicos y virtuales (como las interacciones de los activos físicos y la réplica digital), las interacciones entre una instancia de gemelo digital y la flota, las interacciones entre la inteligencia de la máquina con la mente humana (operadores/gestores).

Sincronización: Una representación virtual coherente y que es necesaria para una serie de tareas en línea como la programación, el control y la optimización.

Ciclo de vida completo: Identifica la evolución y sincroniza los gemelos en todas las etapas que abarcan el diseño, la creación de prototipos, la fabricación, el despliegue, el mantenimiento y la eliminación.

Así, este artículo sugiere una definición amplia que cubra la variedad de usos y proporciona una descripción minuciosa para distinguir los Gemelos Digitales de otras tecnologías digitales (Hananto et al. 2024). Además, este DT actúa con el fin de crear, simular, predecir y optimizar desempeños en sistemas o procesos físicos mediante representaciones virtuales mediante de algoritmos de IA, recopilación de datos de sensores IoT y plataformas de simulación avanzada.

En tal sentido, se puede definir para efectos de este estudio que un gemelo digital replica su semejante físico a una versión virtual. Además, actualmente estos gemelos digitales son comúnmente usados dentro del ámbito de gestión productiva, ya que pueden crear sistemas y escenarios hipotéticos, permitiendo anticipar fallos y optimizar diversos procesos dentro de las industrias.

MATERIALES Y METODO

La investigación fue de tipo analítica, de diseño documental porque implica un proceso dirigido a la búsqueda de nuevos conocimientos mediante la recuperación, análisis e interpretación de datos secundarios (Arias, 2023). Para el estudio de los gemelos digitales en la gestión de operaciones se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus, por ser una de las herramientas de búsqueda y análisis confiable para investigaciones.

El procedimiento consistió en documentar el impacto de los gemelos digitales en operaciones de cadenas complejas bajo los resultados obtenidos de la base de

datos Scopus, considerando investigaciones a partir del año 2012 hasta el año 2024, y palabras claves como "*Digital Twin*", "*Digital Twins*", e "*Industry 4.0*".

RESULTADOS

A continuación, en las tablas 1 a la 3 y en el cuadro 1, se presentan las consideraciones de los resultados de la base de datos Scopus, relacionados con el evento de estudio: gemelos digitales en la gestión de operaciones:

Tabla 1. Palabras claves en la búsqueda de Scopus

***Keywords* (palabras claves)**	
Digital Twins	157
Industry 4.0	97
Smart Manufacturing	24
Internet Of Things	21
Industrial Research	18

Fuente. Elaboración propia (2024)

Tabla 2. Tipo de referencia

***Source type* (tipo de referencia)**	
Journal	197
Trade journal	1

Fuente. Elaboración propia (2024)

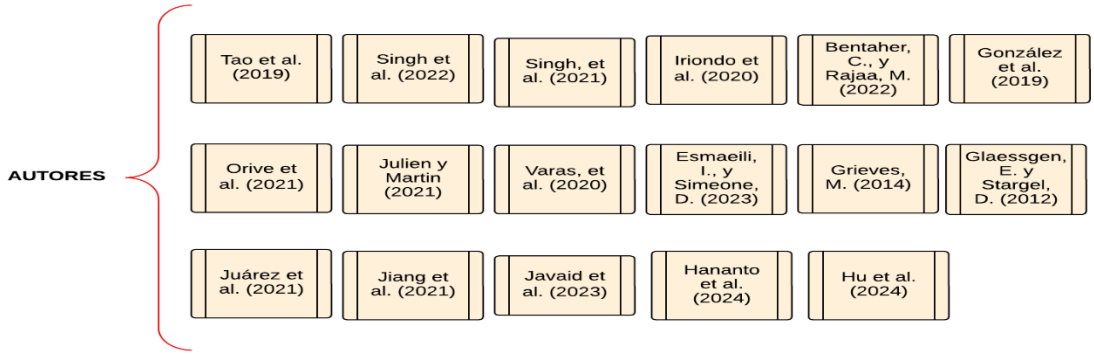
Tabla 3. Idioma de las investigaciones

***Language* (idioma)**	
English	194
German	2
Russian	1
Spanish	1

Fuente. Elaboración propia (2024)

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se tomó dentro de los datos obtenidos 17 artículos relevantes para la investigación de gemelos digitales a continuación en la figura 2 se muestran.

Figura 2. Autores relevantes en la investigación de gemelos digitales en gestión de operaciones



Fuente. Elaboración propia (2024)

Asimismo, en este contexto se determinaron los conceptos y aplicaciones de estos autores:

Cuadro 1. Conceptos y aplicaciones de las investigaciones

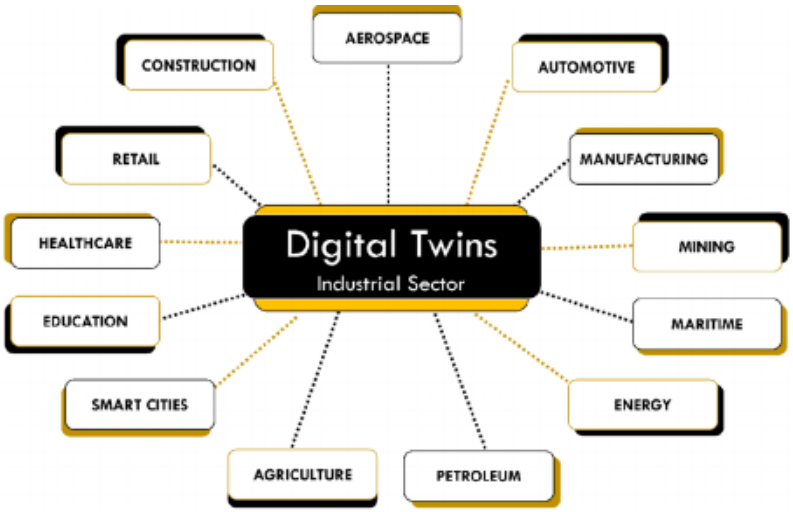
Autores	Conceptos y aplicaciones
Bentaher, C., y Rajaa, M. (2022)	Aplicaciones de SCM 4.0
Esmaeili, I., y Simeone, D. (2023)	Beneficios y desafíos del gemelo digital
Glaessgen, E. y Stargel, D. (2012)	Aplicaciones en vehículos de NASA
González Rodríguez, G., González-Cava, J.M., Jove, E., Calvo-Rolle, J.L., y Méndez Pérez, J.A. (2019)	Implementación en operaciones
Grieves, M. (2014)	Recopilación virtual de fabricas
Hananto, A. L., Tirta, A., Herawan, S. G., Idris, M., Soudagar, M. E. M., Djamari, D. W., y Veza, I. (2024)	Aplicaciones en Industria 4.0
Hu S., Li C., Li B., Yang M., Wang X., Gao T., Xu, W., Suleiman, Y., Zhou, Z. y Xu, P. (2024)	Integración de gemelos digitales
Javaid, M., Haleem, A. y Suman, R. (2023)	Revisión de aplicaciones
Jiang Y., Yin S., Li K., Luo H. y Kaynak O. (2021)	Estudio de casos diversos
Juárez-Juárez, MG., Botti, V. y Giret Boggino, AS. (2021)	Desafíos en implementación
Julien, N. y Martin, E. (2021)	Enfoque basado en uso
Orive, D., López, A., Estévez, E., Orive, A., y Marcos, M. (2021)	Integración en la industria
Ricondo Iriondo, I., Uriarte Zearra, A., y Kortabarria, A. (2020)	Construcción de gemelos digitales
Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E., Qiao, Y., Murray, N., y Devine D. (2021)	Evolución y usos proyectados
Singh, M., Srivastava, R., Fuenmayor, E., Kuts, V., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2022)	Aplicaciones en diversas industrias
Tao, F., Zhang, M., y Nee, A. Y. C. (2019)	Impulso a la eficiencia
Varas Chiquito, M., García Plua, J. C., Bustamante Chong, M., y Bustamante Chong, C. (2020)	Impactos en la cadena de suministro

Fuente. Elaboración propia (2024)

DISCUSIÓN

Los gemelos digitales son definitivamente una pieza fundamental para distintos sectores (véase figura 3). De hecho, diversas industrias, tales como la manufactura, el sector automotriz, el aeronáutico y el de la salud, están empleando extensamente los principios de la Industria 4.0 (Esmaeili y Simeone, 2023).

Figura 3. Diferentes sectores industriales de los gemelos digitales



Fuente. Adaptado de “Applications of Digital Twin across Industries: A Review” (pp.1-28) por Singh et al., 2022, *Applied Sciences. 12*. (5727).

Este artículo amaga la necesidad de conocer las diversas características que podemos evidenciar en las aplicaciones de dichos DT dentro del sector operacional. Entre de estas muchas aplicaciones debemos mencionar la siguiente.

GESTIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

El sistema de cadena de suministro impulsado por gemelos digitales (DTSC) es una solución innovadora e integrada para edificar una cadena de suministro inteligente. (Wang et al., 2022). Utilizando términos como cadena de suministro inteligente, digital y cadena de suministro inteligente, estos permiten transformar las cadenas de abastecimiento en gemelos digitales, adquirir una mejor percepción de sus operaciones y simular situaciones de interrupciones o variaciones en la demanda (Bentaher et al., 2022).

Teniendo en cuenta esto, se describen a continuación los pasos sugeridos dentro de las investigaciones seleccionadas respecto al impacto de los gemelos digitales en gestión de operaciones.

Figura 4. Los 8 pasos en los gemelos digitales en gestión de operaciones.



Fuente. Elaboración propia (2024)

Tomando estas consideraciones, se puede establecer que el impacto que tienen los gemelos digitales en las industrias es significativo, ya que ayudan a optimizar las industrias, mejorando el monitoreo, mantenimiento, optimización, desarrollo y gestión de las industrias. Pero, no todo es color de rosas, los gemelos digitales también asumen riesgos y retos que revelados en distintas investigaciones de Tao et al. (2019), Grieves (2014), Glaessgen y Stargel, (2012), e Iriondo et al. (2020), donde se evidencian, las variables y ventajas del uso de los gemelos digitales.

En las ventajas de los gemelos digitales en distintas investigaciones se obtuvieron como resultados:

Optimización de operaciones: Mejoró la eficiencia operativa al simular y analizar procesos antes de implementarlos en el mundo real.

Mantenimiento predictivo: Ayudó a anticipar fallos de equipos, reduciendo tiempos de inactividad y costos.

Toma de decisiones basada en datos: Facilitó decisiones más informadas y rápidas mediante el análisis continuo de datos reales.

Incremento en la eficiencia operativa: Permitió monitorizar en tiempo real los sistemas productivos, lo que facilitó la detección temprana de problemas y la mejora continua.

Por otro lado, Orive et al. (2021), Iriondo et al. (2020), Xu et al. (2020) y Rodríguez et al. (2020) se evidencian las variables y ventajas del uso de los gemelos digitales dentro de las investigaciones:

Los retos de los gemelos digitales en diversas investigaciones fueron:

Interoperabilidad y costos iniciales: Fue desafiante integrar diferentes sistemas y la inversión inicial en infraestructura tecnológica.

Colaboración interdisciplinaria: Fue difícil de coordinar la colaboración efectiva entre diferentes disciplinas (diseño, automatización, procesos).

Seguridad de los datos: Generó riesgos de seguridad y privacidad, la dependencia de grandes volúmenes de datos.

Los sistemas de inferencia difusos. Presentó mayor dificultad para aprender situaciones atípicas que representan un número minoritario de muestras en el entrenamiento.

Los estudios demuestran que el uso de un guante digital en la gestión operativa en suministradores complejos puede aportar ventajas significativas, pero aún pueden producirse errores o dificultades dentro del proceso, como se destaca los retos.

A pesar de los recientes avances en tecnología digital, Juárez et al. (2021) sugieren que la investigación futura debería centrarse en la integración de la tecnología digital a lo largo del ciclo de vida de un objeto, el uso de herramientas digitales para el control de la producción, la resolución de problemas de fabricación, el uso de inteligencia artificial y sistemas multiagente para la toma de decisiones, la

implementación de estándares de Industria 4.0 para la comunicación de sistemas y la consecución de una ciberfibra eficaz, incluyendo el Embalaje inteligente (SPC) para su correcto funcionamiento.

CONCLUSIÓN

Los gemelos digitales (DT) son cruciales para la transformación de la Industria 4.0, ya que ofrecen ventajas como la mejora de los procesos, el mantenimiento predictivo y la toma de decisiones basada en datos en la producción, la logística y la energía. Sin embargo, se enfrentan a retos como la interoperabilidad, la protección de datos y la coordinación interdisciplinar. A partir de lo analizado se puede concluir que, el éxito de la adopción de la tecnología digital requiere superar obstáculos técnicos, financieros y organizativos para mejorar sus capacidades.

FINCIAMIENTO

Este trabajo no fue financiado.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses financieros ni personales que puedan influir inapropiadamente en el desarrollo de este artículo.

REFERENCIAS

Arias, F. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones sistemáticas. *REDHECS*. Vol. 31. N°22. Recuperado de: https://www.google.co.ve/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9489470.pdf&ved=2ahUKEwiUzMT0rMyNAxXyRDABHQD5KDkQFnoECBoQAQ&usg=AOvVaw2gomWhRPUeeq1NFfsf-1OI

Bentaher, C., y Rajaa, M. (2022). Supply Chain Management 4.0: A Literature Review and Research Framework. [Gestión de la cadena de suministro 4.0: Revisión bibliográfica y marco de investigación.]. *European Journal of Business and Management Research*, *7*(1), 117–127. https://doi.org/10.24018/ejbmr.2022.7.1.1246

Esmaeili, I., y Simeone, D. (2023). A General Contractor's Perspective on Construction Digital Twin: Implementation, Impacts and Challenges. [Perspectiva de un contratista general sobre la construcción digital gemela: aplicación, repercusiones y retos.]. *Buildings*, *13*(4), 978. https://doi.org/10.3390/buildings13040978

Glaessgen, E. y Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles. [El paradigma del gemelo digital para los vehículos futuros de la NASA y la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.]. http://dx.doi.org/10.2514/6.2012-1818

González Rodríguez, G., González-Cava, J.M., Jove, E., Calvo-Rolle, J.L., y Méndez Pérez, J.A. (2019). Diseño de un gemelo digital para el gestor de operaciones de una lavandería industrial. En XL Jornadas de Automática: libro de actas. pp. 499-505. DOI capítulo: https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497169.499

Grieves, M. (2014). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. [Gemelo Digital: Excelencia en la Manufactura a través de la Replicación Virtual de Fábricas.]. Digital Twin White Paper.

Hananto, A. L., Tirta, A., Herawan, S. G., Idris, M., Soudagar, M. E. M., Djamari, D. W., y Veza, I. (2024). Digital Twin and 3D Digital Twin: Concepts, Applications, and Challenges in Industry 4.0 for Digital Twin. [Gemelo Digital y Gemelo Digital 3D: conceptos, aplicaciones y retos de la Industria 4.0 para Gemelo Digital.]. *Computers*, *13*(4), 100. https://doi.org/10.3390/computers13040100

Hu S., Li C., Li B., Yang M., Wang X., Gao T., Xu, W., Suleiman, Y., Zhou, Z. y Xu, P. (2024). Digital Twins Enabling Intelligent Manufacturing: From Methodology to Application. [Gemelos digitales para la fabricación inteligente: De la metodología a la aplicación.]. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*. 1(1):10007. https://doi.org/10.35534/ism.2024.10007

Javaid, M., Haleem, A. y Suman, R. (2023). Digital Twin applications toward Industry 4.0: A Review. [Aplicaciones de Gemelo Digital hacia la Industria 4.0: Una revisión.]. *Cognitive Robotics 3*. 71–92. https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.003

Jiang Y., Yin S., Li K., Luo H. y Kaynak O. (2021). Industrial applications of digital twins. [Aplicaciones industriales de los gemelos digitales.]. *Phil. Trans. R. Soc. A 379*: 20200360. https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0360

Juárez-Juárez, MG.; Botti, V. y Giret Boggino, AS. (2021). Digital Twins: Review and Challenges. [Gemelos digitales: Revisión y retos.]. *Journal of Computing and Information Science in Engineering. 21*(3):1-23. https://doi.org/10.1115/1.4050244

Julien, N. y Martin, E. (2021). How to characterize a Digital Twin: A Usage-Driven Classification. [Cómo caracterizar un Gemelo Digital: Una clasificación basada en el uso.] *IFAC-PapersOnLine*, *54*(1), pp. 894-899, ISSN 2405-8963, https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.106

Orive, D., López, A., Estévez, E., Orive, A., y Marcos, M. (2021). Desarrollo de gemelos digitales para la simulación e integración de activos de fabricación en la industria 4.0. En XLII Jornadas de Automática: libro de actas Castelló. pp. 709-716. https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498043.709

Ricondo Iriondo, I., Uriarte Zearra, A., y Kortabarria, A. (2020). Discrete event simulation procedure to build the production digital twin of highly automated and complex production systems. [Procedimiento de simulación de eventos discretos para construir el gemelo digital de producción de sistemas de producción altamente automatizados y complejos.] *DYNA, 95*(5). pp. 478-481. DOI: https://doi.org/10.6036/9394

Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E., Qiao, Y., Murray, N., y Devine D. (2021). Digital Twin: Origin to Future. [Gemelo Digital: Del Origen al Futuro.]. *Applied System Innovation. 4*. 36. http://dx.doi.org/10.3390/asi4020036

Singh, M., Srivastava, R., Fuenmayor, E., Kuts, V., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2022). Applications of Digital Twin across Industries: A Review. [Aplicaciones del gemelo digital en la industria: Una revisión.]. *Applied Sciences*, *12*(11), 5727. https://doi.org/10.3390/app12115727

Tao, F., Zhang, M., y Nee, A. Y. C. (2019). *Digital Twin Driven Smart Manufacturing*. [Manufactura Inteligente Impulsada por Gemelos Digitales.]. Academic Press.

Varas Chiquito, M., García Plua, J. C., Bustamante Chong, M., y Bustamante Chong, C. (2020). Gemelos digitales y su evolución en la industria. *RECIMUNDO, 4*(4), pp. 300-308. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).noviembre.2020.300-308

Wang, H., Yang, Z., Zhang, Q., Sun, Q., y Lim, E. (2024). A Digital Twin Platform Integrating Process Parameter Simulation Solution for Intelligent Manufacturing. [Una plataforma gemela digital que integra una solución de simulación de parámetros de proceso para la fabricación inteligente.]. *Electronics*, *13*(4), 802. https://doi.org/10.3390/electronics13040802

Wang, L., Deng, T., Shen, M., Hu, H. y Qi, Y. (2022). Digital twin-driven smart supply chain. [Cadena de suministro inteligente impulsada por gemelos digitales.]. *Frontiers of Engineering Management. 9.* 10. http://dx.doi.org/10.1007/s42524-021-0186-9

Xu, C., Zhang, C., y Zhang, L. (2020). A survey of digital twin applications in Industry 4.0. [Una revisión de las aplicaciones de los gemelos digitales en la Industria 4.0.]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 62,* 101837. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837