

# Gemelos digitales e Inteligencia Artificial en la industria de procesos. Un análisis bibliométrico

Federico Walas Mateo<sup>1</sup> ; Armando De Giusti<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), Buenos Aires, Argentina,  
*fedewalas@gmail.com*

<sup>2</sup> III-LIDI, Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina,  
*degiusti@lidi.info.unlp.edu.ar*

## Abstract.

En el contexto de la digitalización industrial, el modelo Industria 5.0 incorpora los gemelos digitales como herramienta innovadora. Este estudio analiza el concepto de gemelos digitales y la incorporación de inteligencia artificial para conocer como estas soluciones contribuyen a llevar la inteligencia a los entornos industriales, y facilitar la evolución en el modelo Industria 5.0.

La digitalización en la industria permite que los productos y procesos conectados mejoren la productividad y la eficiencia de las personas, las plantas y los equipos. Los resultados de estas mejoras tienen impactos generalizados tanto en la economía como en el medio ambiente. A medida que los productos y procesos conectados generan datos, estos datos resultan una fuente fundamental para la toma de decisiones que den una ventaja competitiva, lo que plantea nuevos desafíos en los entornos industriales.

El artículo examina la tecnología de gemelos digitales, su integración con inteligencia artificial y la adopción de estos dispositivos en el marco de la Industria 5.0 o fabricación inteligente. El foco está en discutir sobre la contribución de los gemelos digitales para la optimización de los procesos industriales.

El artículo revisa artículos relevantes y realiza un análisis bibliométrico de temas clave relacionados con los gemelos digitales como una solución de valor agregado para la optimización de procesos dentro del paradigma de la Industria 5.0. Los principales hallazgos resaltan la creciente importancia de este tema desde 2017, con la incorporación de aspectos de IA a los modelos de Gemelos Digitales. El análisis se ha realizado sobre artículos publicados en la base de datos de acceso abierto DIMENSIONS.

**Keywords:** industria 5.0, Gemelo Digital, Inteligencia Artificial (IA), procesos industriales, optimización de procesos

## 1 Introducción

Este artículo está vinculado con un proyecto que se desarrolla entre la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) de España y grupos de investigación de la Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ), la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA) de Argentina, así como la filial local de la empresa Siemens [1]. El foco de esta línea de

investigación y desarrollo está en el uso de nuevas tecnologías, en particular el desarrollo de gemelo digitales (GD) aplicables en la Industria, el sector agrícola y en temas de Gestión Sanitaria.

Este artículo comienza proponiendo el marco conceptual, luego establece los objetivos e hipótesis de la investigación, luego avanza a los hallazgos preliminares para profundizar en un análisis bibliométrico en torno a la idea de GD y la aplicación de inteligencia artificial (IA) para la optimización de procesos dentro de la empresa. el marco del modelo I5.0. Merediz-Solà & Bariviera [2] destacan la disciplina bibliométrica, que se está adoptando gracias al fácil acceso a artículos científicos compilados e indexados en enormes bases de datos, lo que permite medir diferentes hechos relacionados con temas de investigación, como número de autores, palabras clave, tema, citas, colaboración institucional, entre otros datos de investigación.

En este trabajo, metodológicamente el análisis bibliométrico consistió en un mapeo de datos tecnológicos que se realizó mediante un ejercicio sobre la base de datos indexada Dimensions [3]. Los resultados de la búsqueda se analizaron mediante indicadores bibliométricos para profundizar en el conocimiento del dominio de los GD y la IA aplicados en la industria.

Finalmente, la investigación se completó mediante el uso de la herramienta informática VOSviewer® 1.6.11 [4], para analizar los resultados y facilitar el acceso a las conclusiones y posibles futuras líneas de investigación que pueden ser planteadas a partir de los hallazgos generados en la búsqueda en la base de datos científica.

## 2 Marco conceptual

Previamente al trabajo bibliométrico se realizó una investigación bibliográfica sobre los temas en los que se centra este artículo. Para iniciar el desarrollo de este trabajo, se consideraron artículos con algunas ideas interesantes. Esta evidencia parece un buen punto de partida, para luego completar el trabajo con una investigación bibliométrica.

El primer artículo considerado en esta sección es [5] en el que los autores establecen que el concepto de GD se remonta al año 2003, introducido por M. Grieves como una herramienta para gestionar el ciclo de vida del producto. Según este artículo, los gemelos digitales son la columna vertebral del modelo Industria 4.0. Los autores describen esta solución desde tres aspectos: entidad física, entidad virtual y conexión de datos.

Aplicaciones industriales de GD para optimizar procesos se puede observar en varios artículos de diferentes maneras, [6], [7], [8], [9]. Estos artículos brindan algunas ideas para preparar la investigación bibliométrica sobre DT en industrias de procesos.

Yuchen et al. [6] observan que IIoT, DT y el progreso en las redes móviles están facilitando actualmente el desarrollo de CPPS descentralizados y autogestionados dentro de la industria. DT permite que las redes móviles proporcionen configuraciones adaptativas y dinámicas para CPPS cooperativos. Además, se puede lograr una cooperación confiable con blockchain. El documento presenta una solución en la que blockchain se utiliza para verificar y validar bloques recién agregados con el soporte de nodos validadores.

Aloqaily et al. [7] presentan una solución de control de calidad del producto mediante el desarrollo de un modelo de información GD basado en semántica del dispositivo terminal, el ajuste flexible y la configuración de parámetros del dispositivo terminal se realizan para satisfacer las demandas de producción y fabricación flexibles. Los autores señalan que la herramienta sugerida para inspeccionar la calidad del producto puede mejorar la utilización de los recursos de hardware y la eficiencia de la evaluación de la calidad del producto, al tiempo que reduce los gastos generales de implementación del sistema. Además, ofrece compatibilidad adaptable con variaciones de productos y diversos entornos industriales.

Según los autores [8], la tecnología GD aborda las necesidades del IIoT al permitir la simulación, el monitoreo y la optimización de dichos sistemas. En este artículo, se analiza la integración de la técnica de modelado formal, redes de Petri, dentro del contexto de las END para modelar IIoT, acercándose a las redes de Petri basadas en datos. Los resultados de la investigación demuestran la efectividad del modelo en la ejecución de escenarios hipotéticos basados en los parámetros operativos de la red para predecir la tasa de entrega de paquetes y permitir la detección de fallas en tiempo real.

Para avanzar en el marco conceptual se puede citar el trabajo [9], donde los autores afirman que las DT parecen ser habilitadores prometedores para replicar sistemas de producción en tiempo real y analizarlos. Un DT debe ser capaz de garantizar servicios bien definidos para respaldar diversas actividades como monitoreo, mantenimiento, gestión, optimización y seguridad. Los enfoques particulares de este trabajo son el grado de integración del DT propuesto con el control del sistema físico, en particular con los Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES) cuando el sistema de producción se basa en la Pirámide de Automatización propuesta por la norma ISA 95.

Con respecto a la aplicación de inteligencia en entornos industriales, el trabajo [10] desarrolla casos de aplicación en industrias de procesos, que se consideran relevantes con respecto a la posibilidad de adopción de soluciones de inteligencia artificial, en particular a través de modelos de aprendizaje automático. En todos los casos buscaban la optimización de procesos industriales en el marco del paradigma de Industria 5.0. Los casos demuestran los beneficios de implementar soluciones que permiten generar inteligencia en los procesos industriales a partir del uso de los datos de los procesos, integrando soluciones de Internet Industrial de las Cosas con plataformas de inteligencia artificial y aprendizaje automático.

### **3 Desarrollo del análisis bibliométrico**

Habiendo recopilado alguna evidencia sobre DT e inteligencia artificial en el entorno productivo, el objetivo es tener una comprensión más profunda del estado del arte de DT y su adopción en el sector industrial, y las oportunidades para agregar inteligencia a los sistemas de producción para optimizar y agregar confiabilidad a su operación.

Otra observación que es objeto de este trabajo es lo que dice [11] sobre estudios que han demostrado que la digitalización de productos y servicios se ha convertido en una necesidad para un ecosistema industrial sólido. Sin embargo, estos requisitos y tecno-

logías avanzadas han hecho que los sistemas sean más complejos y han generado muchos otros desafíos, como la ciberseguridad, la confiabilidad, la integridad, etc. Estos son los principales obstáculos que deben superarse para el diseño y la implementación exitosos de fábricas inteligentes.

Este artículo tiene como objetivo tomar en consideración las cuestiones expuestas en los párrafos anteriores, en el marco de la adopción de DT en el entorno industrial para agregar valor a los datos en entornos de industrias de procesos.

La tarea de análisis bibliométrico comenzó con la definición de los criterios de búsqueda. Con el objetivo establecido se realizó una búsqueda en la base de datos Dimensions. Este repositorio científico fue seleccionado con la condición de que sea una de las bases de datos científicas más amplias, y su acceso es abierto. Por otro lado, teniendo en cuenta el estudio de un amplio espectro de artículos, se seleccionaron como palabras clave dentro de la búsqueda “Gemelo digital”, “inteligencia artificial”, e “industria de procesos”. La búsqueda trae todos los artículos cuyas palabras clave incluidas en el título o resumen y/o texto completo se combinaron utilizando los operadores booleanos "AND".

La consulta utilizada para la búsqueda fue la siguiente, considerando las palabras clave en inglés:

***"Digital Twin" AND "Artificial intelligence" AND "industry"***

Una vez concluida la búsqueda, los datos encontrados fueron exportados en un archivo CSV, para analizar los resultados en detalle. La exportación se realizó en dos formatos, el primero con la información relacionada con los datos bibliográficos completos, y luego otro archivo que contiene únicamente las palabras clave y los resúmenes de los artículos encontrados.

Posteriormente, el análisis se completó incorporando el archivo CSV de la base de datos DIMENSIONS a la herramienta de software VOSviewer® 1.6.11 para visualizar las palabras clave más relevantes y su agrupamiento [12].

#### **4 Análisis de resultados**

La búsqueda realizada con la metodología descrita en el apartado anterior se realizó el 22 de julio de 2024, obteniendo como resultado 996 artículos. El primer parámetro a estudiar es la evolución del número de documentos por año, que, como se muestra en la Figura 1, el interés por el tema ha ido creciendo desde 2017, cuando apareció el primer artículo sobre el tema analizado. Este indicador muestra que se trata de un tema bastante novedoso con mucho potencial de investigación académica y un interés creciente. Algo a destacar es que se asume que el descenso mostrado para el año 2024 puede asociarse a artículos que están en proceso de publicación.

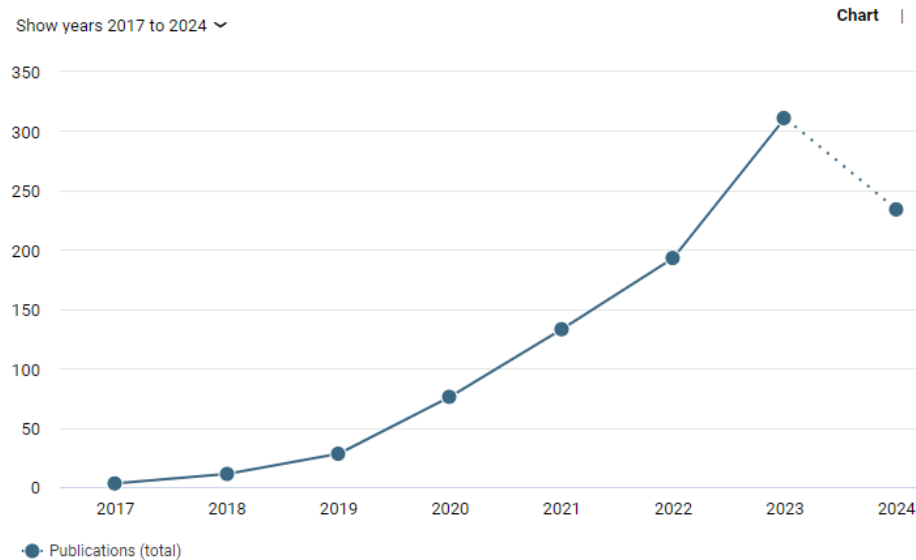


Figura. 1. Evolución en el número de publicaciones sobre gemelos digitales e inteligencia artificial en la industria. Fuente: base de datos Dimensions.

Luego, se analizaron los autores relevantes en el tema con la herramienta de software VOSviewer® 1.6.11, a partir del archivo CSV obtenido de la base de datos Dimensions. A continuación, la Figura 2 muestra a los autores con más de 31 citas. En el vértice inferior derecho de la figura, se muestra una referencia a los colores de cada etiqueta, siendo amarillo para las publicaciones con 200 o más citas, y en el otro extremo el color azul señala los artículos con 50 o menos citas.

Los 2 autores y sus trabajos más citados son los [13], [14], ambos casos presentan relevamiento y análisis de tecnologías habilitadoras. Plantean la incorporación de Inteligencia Artificial como instancia superadora, pero sin dar mayores precisiones. Realizando un escaneo sobre los siguientes artículos con mayor número de citas, resulta de interés el artículo más actual y con mayor número de citas, 263, el paper [15]. Este trabajo profundiza en temas de Inteligencia artificial detallando distintas metodologías de aplicación de aprendizaje automático para agregar inteligencia a los GD.

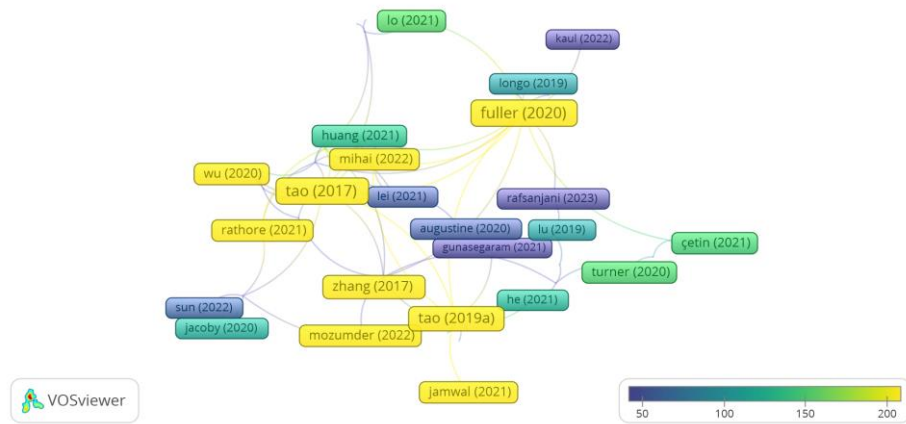


Figura. 2. Autores con mayor numero de citas según análisis realizado con herramienta Vosviewer.

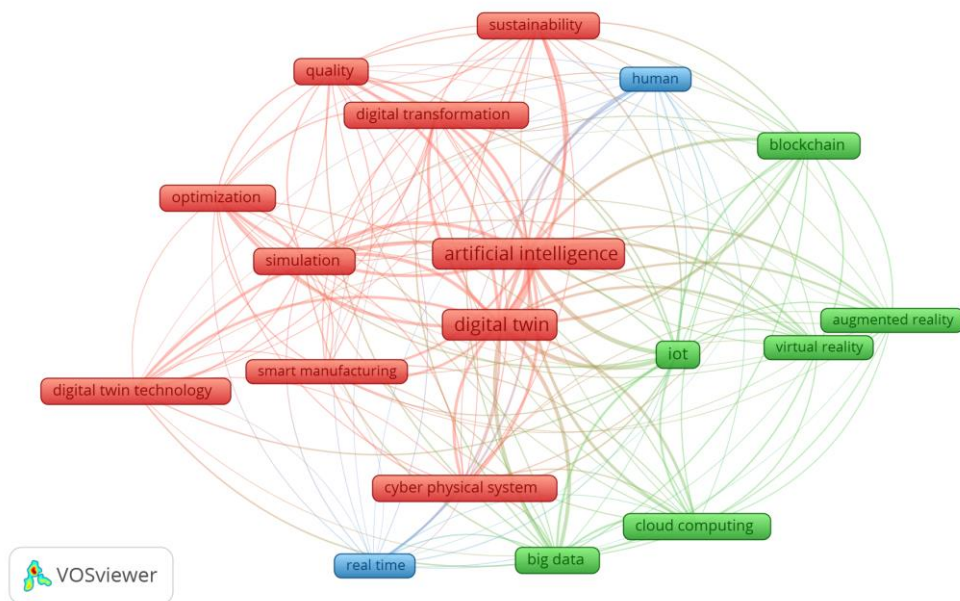


Figura. 3. Clusters con palabras mas citadas según análisis realizado con herramienta Vosviewer.

Se muestran clusters palabras que aparecen mas de 37 veces en los 996 trabajos encontrados en la búsqueda.

En el primer cluster, el rojo alrededor de la palabra inteligencia artificial que se encuentra en el centro se asocia palabras como sustentabilidad, simulación, optimización, y calidad, como las mas relevantes. En el cluster de color verde aparecen tecnologías asociadas a GD como blockchain, realidad aumentada, realidad virtual, IoT, cloud computing, y big data. Por ultimo en el tercer cluster, el azul, aparecen las personas, y el termino tiempo real.

## 5 Conclusiones

Este relevamiento muestra el interés creciente en el empleo de Gemelos Digitales combinados con Inteligencia Artificial para potenciar el valor agregado en la Industria 5.0. Desde el punto de vista académico el tema se ha convertido en una línea promisorio de I+D+I, línea que tratamos de desarrollar en forma colaborativa con la UAB (España), UNNOBA, UNAJ y UNSL en Argentina.

Al mismo tiempo resulta de interés trabajar en prototipos de modelos de planta que se representen con gemelos digitales y sobre los cuales se pueda experimentar la incorporación de algoritmos inteligentes “predictivos” para mejorar la toma de decisiones.

## Referencias

1. Federico Walas Mateo, Dolores Rexachs, Mercè Planas, Eva Bruballa, Francisco Epelde Álvaro Wong, Emilio Luque, Joel Acosta, Sonia Fretes, Ayelén Elisabet Cayuqueo, Gustavo Guitera, Claudia Russo, Leonardo Esnaola, Hugo Ramón, Adrián Jaszczyszyn, Laura De Giusti, Marcelo Naiouf, Santiago Medina, Armando De Giusti. (2024). Gemelos Digitales: Aplicación en la Industria de Procesos, en la Gestión Sanitaria y en el área Agrícola. Congreso WICC. UNSJB. Puerto Madryn
2. I. Merediz-Solà and A. F. Bariviera. A bibliometric analysis of bitcoin scientific production. *Research in International Business and Finance* 50. 294–305. (2019).
3. DIMENSION Homepage, <https://www.dimensions.ai/>, accedido el 20/07/2024.
4. VOSVIEWER Homepage, <http://www.vosviewer.com/>, accedido el 10/03/2024.
5. Alojaiman, B. Technological Modernizations in the Industry 5.0 Era: A Descriptive Analysis and Future Research Directions. *Processes* 2023, 11, 1318. <https://doi.org/10.3390/pr11051318>
6. Jiang Yuchen, Yin Shen, Li Kuan, Luo Hao and Kaynak Okyay 2021. Industrial applications of digital twins. *Phil. Trans. R. Soc. A*.37920200360. <http://doi.org/10.1098/rsta.2020.0360>
7. M. Aloqaily, I. A. Ridhawi and S. Kanhere, "Reinforcing Industry 4.0 With Digital Twins and Blockchain-Assisted Federated ," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 41, no. 11, pp. 3504-3516, Nov. 2023, doi: 10.1109/JSAC.2023.3310068.
8. Hu, P., He, C., Zhu, Y. et al. The product quality inspection scheme based on software-defined edge intelligent controller in industrial internet of things. *J Cloud Comp* 12, 113 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00487-7...>
9. Mehdi Kherbache, Arsalan Ahmed, Moufida Maimour, Eric Rondeau. Constructing a Network Digital Twin through formal modeling: Tackling the virtual–real mapping challenge

- in IIoT networks. Internet of Things. Volume 24. 2023. 101000. ISSN 2542-6605. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101000>.
10. F. Walas Mateo (2023) Tesis Doctoral. “Nuevos modelos de negocio en el paradigma Industria 5.0. Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático para optimizar procesos industriales”
  11. Chiara Cimino, Elisa Negri, Luca Fumagalli, Review of digital twin applications in manufacturing, Computers in Industry, Volume 113,2019,103130,ISSN 0166-3615, <https://doi.org/10.1016/j.com.pind.2019.103130>.
  12. J. Van Eck and L. Waltman. (2020). Manual for VOSviewer version 1.6.15. Universiteit Leiden.
  13. Fuller, A.; Fan, Z.; Day, C.; Barlow, C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access. doi: 10.1109/access.2020.2998358, 2020, V8, 108952-108971.
  14. Tao, F.; Zhang, M. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/access.2017.2756069>, 2017, V5, 20418-20427.
  15. Choi, T.; Kumar, S.; Yue, X.; Chan, H. Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond. Production and Operations Management.2022. doi:10.1111/poms.13622, V31, 9-31.