

# GEMELOS DIGITALES EN LA INDUSTRIA

## *DIGITAL TWINS IN THE INDUSTRY*

Franklin Jhimmy Toala Arias <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Magíster en Educación y Desarrollo Social. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2639-8208>. Correo: [franklin.toala@unesum.edu.ec](mailto:franklin.toala@unesum.edu.ec)

Kirenía Maldonado Zuñiga <sup>2</sup>

<sup>2</sup> Máster en Ciencias de la Educación, Licenciada en Educación Informática. Docente de la carrera en Ingeniería en Tecnologías de la Información. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3764-5633>. Correo: [kirenía.maldonado@unesum.edu.ec](mailto:kirenía.maldonado@unesum.edu.ec)

María Magdalena Toala Zambrano <sup>3</sup>

<sup>3</sup> Ingeniera Civil. Máster en Seguridad y Salud Ocupacional. Profesor. Miembro Técnico de la Dirección de Aseguramiento de la Calidad. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3764-5633>. Correo: [maria.toala@unesum.edu.ec](mailto:maria.toala@unesum.edu.ec)

José Efraín Álava Cruzatty <sup>4</sup>

<sup>4</sup> Ingeniero en Telecomunicaciones. Máster en Telecomunicaciones. Profesor. Miembro Técnico de la Dirección de Aseguramiento de la Calidad. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí. Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2133-7556>. Correo: [jose.alava@unesum.edu.ec](mailto:jose.alava@unesum.edu.ec)

\* Autor para correspondencia: [kirenía.maldonado@unesum.edu.ec](mailto:kirenía.maldonado@unesum.edu.ec)

### Resumen

Gemelos Digitales (GD) es una tecnología de software con el que se trata de representar digitalmente una realidad física, bien sea esta un producto, proceso o sistema; utilizando como aliados a los recursos tecnológicos tales como: Big Data, IoT, Inteligencia Artificial, Cloud Computing y Machine Learning, entre otras, con la finalidad de proporcionar herramientas para la toma de decisiones, implementando adicionalmente capacidades de simulación y predicción. El objeto de la investigación de este trabajo pretende una revisión de la bibliografía científico académica disponible a través del uso de la internet, y a su vez, de determinadas bases de datos y buscadores especializados, a fines de describir y exponer el aporte y el avance del uso de gemelos digitales en la industria, de tal forma se proyecta de forma teórica algunos conceptos básicos sobre los gemelos digitales, su origen, evolución, utilidades (ventajas) y las barreras o limitaciones tecnológicas para su aplicación. A manera de conclusión se indica que, a pesar de que ésta representa un

avance relativamente reciente, los expertos aseguran que ha tenido una rápida evolución y aplicación en varios tipos de industria; cuya finalidad de creación no es conseguir la culminación de la entidad o réplica virtual en sí misma, sino más bien los beneficios que de éste es posible obtener; teniendo en cuenta que la evolución de los gemelos digitales estará ligada a la propia evolución tecnológica y a la admisión en distintas áreas e infraestructuras digitales en industrias, productos, ciudades y otras.

**Palabras clave:** Digitalización; Industria 4.0; Innovación; Tecnología.

### Abstract

*Digital Twins (DG) is a software technology that tries to digitally represent a physical reality, be it a product, process or system; using technological resources as allies such as: Big Data, IoT, Artificial Intelligence, Cloud Computing and Machine Learning, among others, in order to provide tools for decision making, additionally implementing simulation and prediction capabilities. The object of the research in this work aims to review the academic scientific bibliography available through the use of the Internet, and in turn, of certain databases and specialized search engines, in order to describe and expose the contribution and progress of the use of digital twins in the industry, in such a way that some basic concepts about digital twins, their origin, evolution, utilities (advantages) and technological barriers or limitations for their application are projected theoretically. By way of conclusion, it is indicated that, despite the fact that it represents a relatively recent advance, experts assure that it has had a rapid evolution and application in various types of industry; whose purpose of creation is not to achieve the culmination of the entity or virtual replica itself, but rather the benefits that it is possible to obtain; taking into account that the evolution of the digital twins will be linked to the technological evolution itself and the admission to different areas and digital infrastructures in industries, products, cities and others.*

**Keywords:** Digitization; Industry 4.0; Innovation; Technology.

**Fecha de recibido:** 25/09/2022

**Fecha de aceptado:** 25/02/2022

**Fecha de publicado:** 01/03/2022

### Introducción

Un Gemelo Digital o réplica digital de un producto, servicio o proceso permite adelantarnos al futuro para analizar lo que puede pasar y tomar mejores decisiones. Sectores como el de la construcción, la energía, el transporte o el industrial ya están incorporando en su gestión estos gemelos digitales.

Adoptar la tecnología de los gemelos digitales (*digital twins*) es evolucionar en la optimización de la producción, reducir costos y ser más flexibles en la producción con un enfoque hacia la creación de valor para el negocio. Es así que el ciclo de vida de un producto incluye el diseño, prototipo, desarrollo, producción, entrega y mantenimiento del producto y servicios asociados mediante la producción autónoma, digitalización

del ciclo de vida del producto, la utilización de Sistemas Ciberfísicos, obtención de información en tiempo real por medio de sensores, cada vez más pequeños y a un menor costo, el internet de las cosas, uso de cloud computing, big data, robots trabajando colaborativamente con las personas, realidad aumentada para soporte remoto y especializado, inteligencia artificial, fabricación aditiva, visión artificial y ciberseguridad.

Según Ayala (citado en Mapfre Global Risks, 2020), en la investigación efectuada por la consultora Gartner se indica que cerca del 50% de las industrias usará gemelos digitales para el 2021, acción que favorecerá a nivel global el crecimiento de la eficiencia en un 10%.

Se estima que el mercado de gemelos digitales crecerá de los 3.800 millones de dólares de 2019 hasta los 35.800 millones en 2025, con una tasa compuesta anual del 45,4%, según la consultora Markets and Markets. Los factores que impulsan la demanda de gemelos digitales incluyen la creciente adopción de tecnologías emergentes como IoT y la nube para su implementación y la prometedora perspectiva de su incorporación a industrias como la aeroespacial, defensa, automotriz, transporte y atención médica (Mapfre Global Risks, 2020).

El objeto del presente trabajo investigativo consiste en efectuar una revisión de la bibliografía científico académica disponible en mediante el uso de la internet, y a su vez, de determinadas bases de datos y buscadores especializados, a fines de describir y exponer sobre los gemelos digitales (GD) y su evolución en la industria, razón por la que se estima desarrollar algunos conceptos básicos sobre los GD, su origen, evolución, utilidades (ventajas) y las barreras o limitaciones tecnológicas para su aplicación. A continuación, se explica la metodología investigativa, y en la siguiente sección se deja en evidencia los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica, exponiendo y describiendo sobre los aspectos ya mencionados en base a las fuentes encontradas y al final se presentan las discusiones correspondientes.

## **Materiales y métodos**

Basando este estudio en un diseño de investigación bibliográfico, se procedió a efectuar búsquedas de fuentes de información con carácter científico académico, mediante el uso de buscadores especializados (Ref-seek, Google Académico) y algunas bases de datos reconocidas como: Scopus, Dialnet y, Base. Con el uso de palabras claves y algunos operadores lógicos, se constituyen los siguientes descriptores de búsqueda “Gemelos digitales”; Gemelos digitales Digital Twins +evolución +industria; “Digital Twins AND evolution”, entre otras configuraciones y adaptaciones.

A los resultados obtenidos con éstos, se les aplicaron dos filtros principales, que fueron: Idioma (Español e Inglés) y Periodo de publicación (2015 –2020); no obstante, adicionalmente se emplearon otras factores de búsqueda consultadas, entre ellas: tipo de material bibliográfico (artículos originales, papers, libros, secciones de libros, ebooks, tesis de grado, postgrado o doctorado, publicaciones empresariales o de instituciones formales u oficiales, notas o noticias periodísticas, boletines informativos, conferencias, y otros), área de investigación (ciencias informáticas, ingeniería, tecnología y similares), acceso (completo y, abierto o cerrado) entre otros.

Los resultados de las búsquedas (referidos a los enlaces de direcciones web que contenían cada uno de los distintos tipos de recursos bibliográficos) pero, no todos estos recursos fueron inspeccionados y en base al objetivo planteado, se consideró precisar solo hasta los primeros 20 títulos de cada uno de los medios de búsqueda utilizados, priorizando aquellos en los que se encontrara la mayor relación posible entre el título mostrado y el que se ha definido en este estudio, y de éstos, sólo aquellos en los que se pudiera evidenciar mediante una breve lectura de sus resúmenes y/o contenidos, que expusieran lo relativo a conceptos y definiciones básicas, origen, evolución, barreras o limitaciones y utilidades (ventajas) de los GD.

Se descartó todo el material que se halló repetido, es decir, aquellas publicaciones que, siendo una sola, se encontraba alojada en bases de datos o repositorios distintos. Finalmente, alcanzaron 7 publicaciones para sustentar las ideas con las que se alcanzó el objetivo propuesto.

## Resultados y discusión

### Gemelos digitales

Stargel Glaessgen da una definición más detallada reconocida ampliamente en el campo de la investigación. Según Glaessgen (2012): "El gemelo digital es una simulación probabilística, multifísica y multiescalar sobre un producto complejo que utiliza los mejores modelos físicos disponibles, actualizaciones de sensores, etc., para reflejar de forma exacta la vida de su gemelo correspondiente."

Un gemelo digital es una representación digital de una entidad o sistema del mundo real; es decir, se tiene un objeto digital que se comporta como una entidad del mundo físico. Los datos de múltiples gemelos digitales pueden compenetrarse y generar un ambiente virtual donde se pueden probar los distintos elementos físicos. La noción de una representación digital de entidades o sistemas del mundo real no es nueva (Gartner, 2017); sin embargo, el avance del aprendizaje de máquina (machine learning) y la capacidad de procesar grandes cantidades de datos de manera condensada (big data), han llevado a esta tendencia a posicionarse como una de las mayormente mencionadas durante los últimos años.

Los gemelos digitales en el contexto de los proyectos de Internet de las cosas están liderando el interés en los gemelos digitales en la actualidad (Gartner, 2017). Se pretende utilizar los gemelos digitales para optimizar la toma de decisiones en la empresa, porque al tener totalmente simulado el ambiente físico en uno virtual, se permite mayor control y pruebas previas a la implementación física de los sistemas en cuestión.

### ¿Cómo funciona la tecnología Digital Twin?

La vida de un gemelo digital comienza con expertos en matemáticas aplicadas o ciencia de datos que investigan la física y los datos operativos de un objeto o sistema físico para desarrollar un modelo matemático que simule el original.

Los desarrolladores que crean gemelos digitales se aseguran de que el modelo de computadora virtual pueda recibir comentarios de los sensores que recopilan datos de la versión del mundo real. Esto permite que la

versión digital imite y simule lo que está sucediendo con la versión original en tiempo real, creando oportunidades para recopilar información sobre el rendimiento y cualquier problema potencial.

Un gemelo digital puede ser tan complejo o tan simple como necesite, con diferentes cantidades de datos que determinan con qué precisión el modelo simula la versión física del mundo real. El gemelo se puede usar con un prototipo para ofrecer comentarios sobre el producto a medida que se desarrolla o incluso puede actuar como un prototipo por derecho propio para modelar lo que podría ocurrir con una versión física cuando se construya.

### **¿Qué desafíos han resuelto los Gemelos Digitales?**

Dado que se puede utilizar en una amplia gama de industrias, desde la automoción hasta la sanidad y la generación de energía, ya se ha utilizado para resolver una gran cantidad de desafíos. Estos desafíos incluyen pruebas de fatiga y resistencia a la corrosión para turbinas eólicas marinas y mejoras de eficiencia en autos de carreras (Gómez Jiménez, 2021). Otras aplicaciones han incluido el modelado de hospitales para determinar los flujos de trabajo y la dotación de personal para encontrar mejoras en los procedimientos (Orive et al., 2021).

Un gemelo digital permite a los usuarios investigar soluciones para la extensión del ciclo de vida del producto, la fabricación y las mejoras de procesos, y el desarrollo de productos y las pruebas de prototipos. En tales casos, un gemelo digital puede representar virtualmente un problema de modo que se pueda idear y probar una solución en el programa en lugar de en el mundo real (Muñoz Alcázar, 2019).

### **¿Quién inventó el Gemelo Digital?**

El concepto de gemelos digitales fue presentado por primera vez por el libro de 1991 de David Gelernter ‘Mirror Worlds’, con Michael Grieves del Instituto de Tecnología de Florida aplicando el concepto a la fabricación. En 2002, Grieves se había trasladado a la Universidad de Michigan cuando presentó formalmente el concepto de gemelo digital en una conferencia de la Sociedad de Ingenieros de Fabricación en Troy, Michigan (Pinto et al., 2021).

Sin embargo, fue la NASA quien adoptó por primera vez el concepto de gemelo digital y, en un Informe de hoja de ruta de 2010, John Vickers de la NASA le dio su nombre al concepto. La idea se utilizó para crear simulaciones digitales de cápsulas espaciales y naves para realizar pruebas (Salas et al., 2019).

El concepto de gemelo digital se extendió aún más en 2017, cuando Gartner lo nombró como una de las 10 principales tendencias tecnológicas estratégicas. Desde entonces, el concepto se ha utilizado en una gama cada vez mayor de aplicaciones y procesos industriales.

### **Tipos de Gemelos Digitales**

El gemelo digital se puede dividir en tres tipos generales, que muestran los diferentes momentos en los que se puede utilizar el proceso:

- **Prototipo de gemelo digital (DTP):** esto se lleva a cabo antes de crear un producto físico.
- **Instancia gemela digital (DTI):** esto se realiza una vez que se fabrica un producto para ejecutar pruebas en diferentes escenarios de uso
- **Digital Twin Aggregate (DTA):** recopila información DTI para determinar las capacidades de un producto, ejecutar pronósticos y probar parámetros operativos

Estos tipos generales pueden ofrecer una variedad de usos que incluyen planificación logística, desarrollo y rediseño de productos, control / gestión de calidad y planificación de sistemas (Apte & Spanos, 2021). Un gemelo digital se puede utilizar para ahorrar tiempo y dinero siempre que sea necesario probar un producto o proceso, ya sea en diseño, implementación, monitoreo o mejora.

### ¿Cómo diseñar un Gemelo Digital?

Como se mencionó anteriormente, los gemelos digitales se pueden crear para una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo, para probar un prototipo o diseño, evaluar cómo funcionará un producto o proceso en diferentes condiciones y determinar y monitorear los ciclos de vida.

Un diseño de gemelo digital se realiza mediante la recopilación de datos y la creación de modelos computacionales para probarlos. Esto puede incluir una interfaz entre el modelo digital y un objeto físico real para enviar y recibir comentarios y datos en tiempo real.

**Datos:** Un gemelo digital requiere datos sobre un objeto o proceso para poder crear un modelo virtual que pueda representar los comportamientos o estados del elemento o procedimiento del mundo real. Estos datos pueden estar relacionados con el ciclo de vida de un producto e incluir especificaciones de diseño, procesos de producción o información de ingeniería. También puede incluir información de producción, incluidos equipos, materiales, piezas, métodos y control de calidad. Los datos también pueden estar relacionados con la operación, como comentarios en tiempo real, análisis históricos y registros de mantenimiento. Otros datos utilizados en el diseño de gemelos digitales pueden incluir datos comerciales o procedimientos al final de su vida útil.

**Modelado:** Una vez que se han recopilado los datos, se pueden utilizar para crear modelos analíticos computacionales para mostrar efectos operativos, predecir estados como la fatiga y determinar comportamientos. Estos modelos pueden prescribir acciones basadas en simulaciones de ingeniería, física, química, estadística, aprendizaje automático, inteligencia artificial, lógica empresarial u objetivos. Estos modelos se pueden mostrar a través de representaciones en 3D y modelado de realidad aumentada para ayudar a la comprensión humana de los hallazgos.

**Enlace:** Los hallazgos de los gemelos digitales se pueden vincular para crear una descripción general, por ejemplo, tomando los hallazgos de los gemelos de equipos y poniéndolos en un gemelo de línea de



producción, que luego puede informar a un gemelo digital a escala de fábrica. Al usar gemelos digitales vinculados de esta manera, es posible habilitar aplicaciones industriales inteligentes para desarrollos y mejoras operacionales del mundo real.

### **Beneficios del Digital Twin**

Los beneficios del gemelo digital varían según cuándo y dónde se utilice. Por ejemplo, el uso de gemelos digitales para monitorear productos existentes, como una turbina eólica o un oleoducto, puede reducir las cargas de mantenimiento y ahorrar muchos millones en costos asociados. En términos generales, las principales ventajas son:

- Los gemelos digitales también se pueden utilizar para la creación de prototipos antes de la fabricación, lo que reduce los defectos del producto y acorta el tiempo de comercialización.
- Mejoras de procesos, ya sea monitoreando los niveles de personal con respecto a la producción o alineando una cadena de suministro con los requisitos de fabricación o mantenimiento.
- Mayor confiabilidad y disponibilidad a través del monitoreo y la simulación para mejorar el rendimiento.
- Reducir el riesgo de accidentes y el tiempo de inactividad no planificado debido a fallas.
- Reducir los costos de mantenimiento al predecir las fallas antes de que ocurran y garantizar que los objetivos de producción no se vean afectados por la programación del mantenimiento, la reparación y el pedido de piezas de repuesto.
- Ofrecer mejoras continuas mediante el análisis de modelos de personalización y garantizar la calidad del producto mediante pruebas de rendimiento en tiempo real.
- Sin embargo, a pesar de todos los beneficios, el gemelo digital no es adecuado en todos los casos, ya que puede aumentar la complejidad. Algunos problemas comerciales simplemente no necesitan un gemelo digital y pueden resolverse sin la inversión asociada en tiempo y costo.

### **Ejemplos de Gemelos Digitales**

Se pueden encontrar ejemplos de gemelos digitales en toda la industria y más allá para la fabricación, el mantenimiento y la prevención de fallas / monitoreo del ciclo de vida. Las aplicaciones abarcan desde usos automotrices donde los sensores de telemetría brindan retroalimentación de los vehículos hasta el programa de gemelo digital, fábricas donde los procesos son simulados por gemelo digital para proporcionar mejoras y atención médica donde los sensores pueden informar a un gemelo digital para monitorear y predecir el bienestar de un paciente.

### **¿Cómo ha impactado en la Industria 4.0?**

Mediante la integración de tecnologías como inteligencia artificial, aprendizaje automático y análisis de software con datos, el gemelo digital crea un modelo de simulación que puede actualizarse junto con o en

lugar de una contraparte física. Esto permite a las empresas evaluar un ciclo de desarrollo completamente informatizado desde el diseño hasta la implementación e incluso el desmantelamiento.

Al imitar los activos físicos, los marcos y las operaciones para producir datos continuos, un gemelo digital permite a la industria anticipar el tiempo de inactividad, reaccionar a las circunstancias cambiantes, probar las mejoras del diseño y mucho más.

El gemelo digital es clave para el desarrollo de la Industria 4.0 para proporcionar automatización, intercambio de datos y procesos de fabricación conjuntos, así como para reducir el riesgo de implementación de productos. Los empleados de la industria pueden monitorear las operaciones en tiempo real, proporcionando alertas previas de posibles fallas y permitiendo la optimización y evaluación del desempeño en tiempo real con una mínima pérdida de productividad.

### Conclusiones

De tal forma se puede concluir que la tecnología aplicada de gemelos digitales resulta bastante fácil comprender y que las ventajas son enormes. Sin duda, la característica más importante que es increíblemente atractiva para las empresas de todo el mundo es su capacidad para ejecutar pruebas virtuales y operaciones de desarrollo de una forma rentable, ya que de otro modo tendrían que realizarse en el mundo real. El futuro de los Gemelos Digitales está enfocado en mejorar en las áreas de precisión y facilidad del uso de datos/accesibilidad. Cuanto más real y precisa sea la simulación, mejor serán los resultados. Por tanto un avance de gran importancia en los próximos años.

### Referencias

- Morales-Rodríguez, N. (2018). Uso de nuevas tecnologías para la competitividad del país. *Investiga. TEC*, (33), 3-3.
- Bosque Peón, C. D. (2019). Los gemelos digitales en la industria 4.0.
- de Usera, A. D. L. M., & Bobi, J. D. D. S. (2019). Desarrollo de un gemelo digital y análisis de su impacto.
- Muñoz Alcázar, J. (2019). Aplicación del concepto de Gemelo Digital a un SCADA Industrial (Doctoral dissertation).
- Chiquito, M. V., Plua, J. C. G., Chong, M. B., & Chong, C. B. (2020). Gemelos digitales y su evolución en la industria. *RECIMUNDO*, 4(4), 300-308.
- Robles, J. A. A., Nava, C. F., & Ramirez, L. G. C. Los gemelos digitales, la última frontera de la Ingeniería Mecatrónica. <https://decidesoluciones.es/gemelos-digitales-cadena-de-suministro/>
- Apte, P. P., & Spanos, C. J. (2021). La oportunidad de los gemelos digitales. *Harvard Deusto business review*(316), 68-73. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8141809>



- Gómez Jiménez, J. (2021). Metodología para el desarrollo de gemelos digitales. Aplicación a célula de fabricación flexible. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/126641/TFM-2082-GOMEZ%20JIMENEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz Alcázar, J. (2019). *Aplicacion del concepto de gemelo digital a un scada Industrial* Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/126015/Mu%C3%B1oz%20-%20Aplicaci%C3%B3n%20del%20concepto%20de%20Gemelo%20Digital%20a%20un%20SCADA%20Industrial.pdf?sequence=1>
- Orive, D., López, A., Estévez, E., Orive, A., & Marcos, M. (2021). Desarrollo de gemelos digitales para la simulación e integración de activos de fabricación en la industria 4.0. XLII Jornadas de Automática,
- Pinto, A. R., Okiñena, J. K., & Ortega, E. L. (2021). Análisis de una experiencia multimodal de realidad mixta para la programación de un cobot a través de su gemelo digital. *Revista de la Asociación Interacción Persona Ordenador (AIPO)*, 2(2), 19-33. <http://revista.aipo.es/index.php/INTERACCION/article/download/40/50>
- Salas, J. L., Officer, C. D., Asencio, F., & de Calidad, L. d. A. (2019). Desarrollo De Un Gemelo Digital 3d Para 3 Unidades En La Refinería De Cartagena De Ecopetrol. *Recuperado de https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19008\_TRA\_COL\_J\_SALAS\_CIMGA2019.pdf*. [https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19008\\_TRA\\_COL\\_J\\_SALAS\\_CIMGA2019.pdf](https://educacion.aciem.org/CIMGA/2019/Trabajos/19008_TRA_COL_J_SALAS_CIMGA2019.pdf)