

GEMELO DIGITAL (DIGITAL TWIN): SIMULACIÓN, PREDICCIÓN Y MODERNIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

Autor: Paz Victoria Quintanilla Inostroza -
p.quintanilla01@ufromail.cl **Fecha:** 03/09/2026

Resumen

El presente informe analiza la tecnología de Gemelo Digital (Digital Twin, DT) y su aplicación en la modernización de procesos industriales. Se aborda el concepto desde una perspectiva de integración entre el sistema físico y su representación digital, considerando el intercambio de datos, la simulación, el análisis y la capacidad de predecir distintos comportamientos del sistema. Además, se propone una estimación económica para implementar un proyecto piloto de Gemelo Digital en una sección de una planta industrial, considerando sensores, infraestructura de comunicación, sistemas de control, almacenamiento de datos, plataforma de simulación y visualización. Finalmente, se analizan sus principales ventajas, junto con limitaciones relacionadas con la calidad de los datos, la incertidumbre de las predicciones, la interoperabilidad y la ciberseguridad. Los resultados muestran que el valor de un Gemelo Digital no depende únicamente de disponer de una representación virtual, sino de la capacidad de mantener una conexión confiable entre el sistema físico y el digital, permitiendo tomar decisiones con menor riesgo y utilizar la simulación como herramienta de anticipación y optimización.

Introducción

La transformación digital de la industria ha generado la necesidad de desarrollar herramientas capaces no solamente de recopilar información sobre los procesos, sino también de utilizarla para comprender, anticipar y optimizar su comportamiento. En este contexto surge el concepto de Gemelo Digital o Digital Twin (DT), entendido como una representación digital de un sistema físico que permite analizar sus estados, comportamientos y posibles escenarios mediante la integración de datos, modelos y herramientas de simulación.

A pesar de que el concepto ha adquirido una amplia difusión, no existe una única definición universalmente aceptada de Digital Twin. Esta falta de estandarización puede dificultar la comunicación entre distintas áreas, el desarrollo de estándares y la comparación entre soluciones. Entre las características relevantes para distinguir un Gemelo Digital se encuentran la conexión entre la representación física y digital, el intercambio de información y la capacidad de utilizar dicha información para monitorear, diagnosticar, predecir u optimizar el sistema. (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2026a).

La relevancia de esta tecnología para la automatización industrial radica en que permite analizar situaciones que, en un sistema exclusivamente físico, podrían requerir intervenciones costosas o riesgosas. Mediante la simulación es posible evaluar cambios de diseño, estudiar fallas, analizar diferentes condiciones de operación y comparar alternativas antes de implementarlas sobre los equipos reales. NIST señala que los Gemelos Digitales pueden utilizarse para representar equipos, subsistemas y procesos, permitiendo realizar pruebas y análisis sin ejecutar necesariamente experimentos costosos y de alto riesgo

sobre los componentes físicos.

Objetivo

Analizar la aplicación de la tecnología Digital Twin en la modernización de procesos industriales, mediante la descripción de sus fundamentos, la estimación de los recursos y costos necesarios para implementar un proyecto piloto en una sección de una planta y la evaluación de sus principales ventajas, limitaciones y condiciones de implementación.

Metodología

Para desarrollar el informe se realizó una investigación documental orientada a comprender el concepto de Digital Twin, sus componentes tecnológicos, sus aplicaciones industriales, sus beneficios económicos y sus principales desafíos de implementación.

La investigación se basó principalmente en documentación técnica y publicaciones del National Institute of Standards and Technology (NIST), organismo que desarrolla investigación relacionada con Gemelos Digitales, manufactura avanzada, validación, estandarización y evaluación económica. También se consultó documentación técnica de Amazon Web Services (AWS) para analizar una arquitectura de implementación industrial y comprender la relación entre sensores, sistemas de control, almacenamiento de datos, modelos digitales y herramientas de visualización.

A partir de la información recopilada se realizó una síntesis conceptual de la tecnología y posteriormente se construyó un escenario hipotético de modernización de una sección de una planta industrial. Para este escenario se consideró un proyecto piloto orientado a una línea de producción compuesta por diez equipos principales. La estimación económica se elaboró mediante supuestos explícitos sobre sensores, conectividad, infraestructura de control, almacenamiento, simulación, visualización e integración. Debido a que el costo de un Digital Twin depende considerablemente del tamaño, complejidad, infraestructura existente y alcance del proyecto, la estimación presentada no corresponde a un precio universal de implementación, sino a un escenario referencial para dimensionar la inversión.

Finalmente, junto a la inteligencia artificial, se analizaron las ventajas y limitaciones identificadas en la literatura y se contrastaron con una perspectiva crítica respecto de la utilidad real de la tecnología.

Uso de IA

Se utilizó inteligencia artificial generativa como herramienta de apoyo durante el desarrollo del informe. El modelo empleado fue GPT-5.6 Luna.

La distribución de contribuciones se determinó considerando las actividades efectivamente desarrolladas durante la elaboración del documento y la evaluación realizada por la propia herramienta de IA respecto de los roles definidos por el marco de Ciencia Generativa de Alarcón (2026b).

Declaración de contribuciones según el marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026b):

Paz Victoria Quintanilla Inostroza (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación, Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición.

GPT-5.6 Luna (IA): Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición.

La contribución humana correspondió principalmente a la definición del enfoque del informe, selección de las ideas centrales, interpretación de la tecnología, formulación de la postura crítica, revisión de la información y validación del contenido final. La IA fue utilizada como herramienta de apoyo para organizar información, contrastar conceptos, desarrollar el análisis y apoyar la redacción, sin reemplazar la evaluación y decisión final de la autora.

Resultados

1. Concepto y funcionamiento del Digital Twin

La investigación permitió identificar que el Digital Twin corresponde a una representación digital de un sistema físico, cuyo propósito supera la simple visualización de dicho sistema. Su utilidad depende de la capacidad de conectar la representación digital con información proveniente del sistema físico y utilizarla para analizar su estado, comportamiento y posibles escenarios futuros.

NIST señala que una característica relevante de los Digital Twins es su capacidad para representar, diagnosticar, predecir y optimizar sistemas reales. En manufactura, estos pueden construirse para equipos individuales, subsistemas o procesos completos, acompañando distintas etapas del ciclo de vida.

La arquitectura de un Digital Twin requiere la integración de diferentes tecnologías. Un ejemplo de arquitectura industrial presentado por AWS considera la utilización de PLC, sistemas SCADA, servidores de datos históricos y otros sistemas industriales para obtener información en tiempo casi real mediante protocolos como OPC UA. Posteriormente, los datos pueden almacenarse y organizarse en modelos de activos, conectarse con el Gemelo Digital y utilizarse para visualización y análisis.

Por lo tanto, el Digital Twin no debe entenderse como un único software aislado. Su funcionamiento depende de un ecosistema compuesto por elementos físicos y digitales que deben intercambiar información de manera coordinada.

Entre los principales elementos identificados se encuentran:

- Equipos y procesos físicos.
- Sensores para capturar variables como temperatura, vibración, presión, velocidad o consumo energético.
- Sistemas de control, como PLC.
- Sistemas de supervisión y adquisición de datos, como SCADA.
- Infraestructura de comunicación.
- Bases de datos y almacenamiento de series temporales.

- Modelos matemáticos o computacionales.
- Herramientas de simulación.
- Plataformas de Digital Twin.
- Sistemas de visualización y generación de indicadores.
- Herramientas de análisis y predicción.

NIST destaca que un Gemelo Digital exitoso debe ser dinámico y estar basado en datos, manteniendo una conexión y sincronización adecuada con su contraparte física. Para ello resultan fundamentales tecnologías de sensorización, conectividad industrial y modelos de simulación capaces de apoyar el análisis predictivo.

2. Estimación de implementación de un proyecto piloto

Para dimensionar una posible implementación se consideró una sección hipotética de una planta compuesta por una línea de producción con diez equipos principales. Se propone comenzar mediante un proyecto piloto, en lugar de intentar digitalizar inmediatamente toda la planta.

Para cada equipo se considera la instalación de sensores destinados principalmente al monitoreo de temperatura, vibración, estado operacional y consumo energético. La información sería recopilada mediante la infraestructura de control existente o mediante nuevos dispositivos de adquisición, transmitida hacia una plataforma de datos y posteriormente integrada al modelo digital.

Para dimensionar la infraestructura necesaria, se consideraron los componentes presentados en la Tabla 1, junto con una cantidad referencial para cada uno.

Tabla 1. Componentes considerados para la implementación piloto del Digital Twin

Sistema o componente	Cantidad estimada	Función
Equipos industriales monitoreados	10	Activos físicos representados
Sensores por equipo	4	Temperatura, vibración, estado y consumo
Gateway industrial	2	Adquisición y comunicación de datos

PLC / infraestructura de control	2	Control y adquisición de señales
Sistema SCADA	1	Supervisión del proceso
Plataforma de almacenamiento de datos	1	Registro histórico y datos operacionales
Plataforma Digital Twin	1	Integración del modelo digital
Software de simulación	1	Evaluación de escenarios
Sistema de visualización / dashboard	1	Monitoreo y apoyo a decisiones
Sistema de respaldo y ciberseguridad	1	Protección y continuidad operacional

Nota: La tabla presenta una propuesta referencial para una línea de producción hipotética compuesta por diez equipos principales. Las cantidades corresponden a los supuestos definidos para este escenario y no representan una configuración universal de Digital Twin.

El número de componentes no corresponde a una cantidad universal necesaria para cualquier Digital Twin. Se trata de una propuesta referencial para una sección específica de una planta. La cantidad real dependería de la infraestructura existente y de las variables que sea necesario monitorear.

A partir de los componentes definidos en la Tabla 1, se elaboró la estimación económica presentada en la Tabla 2.

Tabla 2. Estimación referencial de costos para el proyecto piloto.

Componente	Estimación referencial
40 sensores industriales	US\$ 8.000
Gateways y adquisición de datos	US\$ 5.000
PLC, módulos e integración de control	US\$ 10.000
Infraestructura de comunicación industrial	US\$ 5.000
Almacenamiento y plataforma de datos	US\$ 8.000
Plataforma Digital Twin	US\$ 12.000
Software de simulación y modelamiento	US\$ 10.000
Visualización y dashboards	US\$ 3.000
Ciberseguridad y respaldo	US\$ 5.000
Ingeniería, configuración e integración	US\$ 12.000
TOTAL ESTIMADO	US\$ 78.000

Nota: Los valores corresponden a una estimación de orden de magnitud para el escenario hipotético planteado y no constituyen una cotización comercial.

El valor anterior debe interpretarse como una estimación de orden de magnitud para un proyecto piloto, no como una cotización comercial. El costo real puede ser significativamente superior o inferior dependiendo de la tecnología utilizada, licenciamiento, infraestructura previamente instalada, cantidad de activos, nivel de precisión requerido y servicios de integración.

Esta variabilidad es consistente con el análisis económico desarrollado por NIST, que plantea que la decisión de adoptar un Digital Twin debe considerar conjuntamente sus costos, beneficios y condiciones específicas de implementación, en lugar de asumir un costo fijo para la tecnología.

Además, el análisis económico debe considerar que la inversión no se limita al software. Parte importante del proyecto corresponde a la infraestructura que permite generar datos confiables y mantener la conexión entre el activo físico y su representación digital.

3. Estrategia de modernización

A partir del análisis realizado, se propone implementar el Digital Twin de manera progresiva.

La primera etapa correspondería a seleccionar una sección de la planta y desarrollar un proyecto piloto. En esta etapa se identificarían los equipos críticos, las variables necesarias, las fuentes de datos existentes y las brechas de infraestructura.

La segunda etapa consistiría en implementar la sensorización, conectividad y almacenamiento necesarios. Posteriormente se construiría y validaría el modelo digital utilizando datos reales.

Una vez validado el modelo, podría incorporarse simulación para estudiar escenarios de operación, mantenimiento y posibles fallas. Finalmente, si los resultados demuestran beneficios operacionales y económicos, el sistema podría extenderse hacia otras áreas de la planta.

Esta estrategia permite disminuir el riesgo de realizar una inversión masiva antes de comprobar que la tecnología genera valor en el contexto particular de la organización.

4. Ventajas identificadas

Entre las principales ventajas de la implementación de Digital Twin se identificaron las siguientes:

a) Predicción y prevención de fallas.

El análisis continuo de variables permite detectar cambios en el comportamiento de los equipos y apoyar estrategias de mantenimiento predictivo.

b) Simulación de escenarios.

Los cambios pueden evaluarse virtualmente antes de ser implementados físicamente. Esto permite analizar distintas alternativas sin exponer directamente los equipos reales.

c) Reducción del riesgo operacional.

Las pruebas virtuales permiten estudiar condiciones potencialmente peligrosas sin necesidad de reproducirlas inicialmente en la planta.

d) Optimización de procesos.

El análisis de los datos y la simulación permiten comparar diferentes condiciones de operación y buscar configuraciones más eficientes.

e) Reducción potencial de costos.

La anticipación de fallas, disminución de tiempos de detención y optimización de procesos pueden generar beneficios económicos capaces de justificar la inversión.

f) Mejor toma de decisiones.

El acceso integrado a información histórica y actual permite disponer de una visión más completa del comportamiento del proceso.

g) Apoyo al desarrollo de sistemas automatizados.

Los entornos digitales pueden utilizarse para experimentar con estrategias de control y sistemas inteligentes antes de implementarlos sobre los equipos físicos.

h) Apoyo a la innovación.

La posibilidad de evaluar numerosos escenarios reduce el costo y el riesgo asociado a experimentar directamente en la planta.

NIST identifica precisamente la simulación, el monitoreo, la optimización y el apoyo a la toma de decisiones como funciones fundamentales de los Digital Twins, destacando su capacidad para anticipar estados y comportamientos futuros.

Discusión

Los resultados obtenidos permiten considerar al Digital Twin como una herramienta con un potencial importante para la modernización industrial, pero su valor no debería evaluarse únicamente por la existencia de una representación virtual. La utilidad real depende de la calidad de la información utilizada, la integración entre los sistemas y la capacidad del modelo para representar adecuadamente el comportamiento del sistema físico.

Uno de los aspectos que considero más relevantes es la confiabilidad de las predicciones. Un Gemelo Digital puede realizar simulaciones muy sofisticadas, pero si los datos de entrada son incorrectos, insuficientes o están desactualizados, las conclusiones obtenidas también pueden ser incorrectas. Por este motivo, no basta con disponer de grandes cantidades de datos: es necesario que estos sean adecuados, oportunos y confiables.

Esta condición se relaciona directamente con la necesidad de validar los modelos. NIST identifica la verificación, validación y cuantificación de incertidumbre como áreas importantes para el desarrollo de Digital Twins en manufactura. La incertidumbre debe ser considerada porque una predicción no constituye una certeza absoluta.

Desde esta perspectiva, considero que un Digital Twin confiable debe permitir no solamente

responder “qué ocurrirá”, sino también evaluar **qué tan confiable es esa predicción**. Esto es especialmente importante cuando las decisiones tienen consecuencias económicas o de seguridad relevantes. Una organización podría tomar una decisión costosa basándose en una simulación que parece precisa, pero que en realidad presenta importantes fuentes de incertidumbre.

Otra ventaja fundamental es la posibilidad de experimentar virtualmente. Probar una condición de operación, una modificación de diseño o una situación de falla dentro de una simulación puede ser considerablemente menos costoso y riesgoso que realizar el mismo experimento directamente sobre la planta. En términos simples, resulta preferible descubrir un problema en una simulación antes que descubrirlo después de que un equipo haya sufrido una falla.

Esto también permite entender el Digital Twin como una herramienta que puede transformar la toma de decisiones desde una lógica principalmente reactiva hacia una lógica predictiva. En lugar de esperar a que ocurra una falla para actuar, los datos y modelos pueden utilizarse para identificar condiciones que anticipen un problema.

Sin embargo, la inversión inicial es considerable. La estimación desarrollada muestra que el costo de un proyecto piloto no se encuentra solamente en el desarrollo del modelo digital, sino también en sensores, comunicaciones, almacenamiento, integración, software, seguridad y personal especializado. Por esta razón, considero adecuada una estrategia progresiva, comenzando con un proyecto piloto y extendiendo posteriormente la solución si los resultados justifican la inversión. El análisis económico de NIST también enfatiza la necesidad de evaluar los costos y beneficios específicos antes de adoptar esta tecnología.

Otro aspecto crítico corresponde a la ciberseguridad. Un Digital Twin puede concentrar información detallada sobre los activos, procesos y relaciones existentes dentro de una planta. Por lo tanto, una vulnerabilidad en el entorno digital podría convertirse en un riesgo para la operación física si no se establecen mecanismos adecuados de protección, control de acceso, segmentación y gestión de datos. NIST identifica explícitamente desafíos de ciberseguridad y confianza asociados a los Digital Twins, incluyendo tanto problemas tradicionales como nuevos riesgos derivados de su arquitectura y conectividad.

Por lo anterior, considero que la frase “un Gemelo Digital alimentado con datos basura es solamente un modelo 3D muy caro” resume una condición importante de esta tecnología. La representación visual puede ser atractiva, pero no constituye por sí misma el valor del Digital Twin. Su valor se encuentra en la conexión confiable entre el sistema físico, los datos, el modelo, la simulación y las decisiones que se toman a partir de ellos.

Respecto del uso de inteligencia artificial durante el desarrollo de este informe, considero que su principal aporte fue apoyar la búsqueda, organización, contraste y estructuración de información, además de ayudar a transformar ideas iniciales en argumentos técnicos. Sin embargo, la selección del enfoque, las opiniones desarrolladas, la evaluación de las ventajas y riesgos y la decisión sobre qué aspectos incorporar al informe correspondieron a la autora. La IA fue utilizada como herramienta de apoyo y no como sustituto del análisis realizado.

Conclusiones

El Digital Twin constituye una herramienta de modernización industrial que permite conectar sistemas físicos y digitales para monitorear, analizar, simular, predecir y optimizar procesos. Su principal aporte no consiste en crear una copia virtual de una planta, sino en utilizar una representación digital conectada con datos reales para apoyar decisiones sobre el sistema físico.

El análisis realizado permitió determinar que una implementación industrial requiere la integración de múltiples componentes, entre ellos sensores, sistemas de control, comunicación, almacenamiento de datos, modelos digitales, simulación y visualización. Para una línea hipotética de diez equipos se estimó una implementación piloto de aproximadamente US\$78.000, valor utilizado únicamente como referencia para dimensionar la inversión y sujeto a variaciones según las características de cada organización.

La principal ventaja identificada corresponde a la posibilidad de anticiparse a problemas y evaluar alternativas antes de intervenir directamente en la realidad. La simulación permite experimentar con diferentes escenarios, estudiar fallas, optimizar procesos y apoyar decisiones con menor exposición al riesgo físico y económico. De esta manera, el Digital Twin puede contribuir a transformar una gestión reactiva en una gestión más predictiva.

Sin embargo, la implementación no garantiza por sí sola mejores resultados. La confiabilidad de las predicciones depende de la calidad y actualización de los datos, la correcta integración de los sistemas y la validación de los modelos. Además, la ciberseguridad debe considerarse desde las primeras etapas debido al nivel de información y conectividad que puede concentrar un Gemelo Digital.

Por estas razones, la estrategia más adecuada para una organización que busca adoptar esta tecnología sería comenzar con un proyecto piloto acotado, validar técnica y económicamente sus resultados y posteriormente ampliar su utilización. El aporte principal del Digital Twin no está, por tanto, en “tener una copia digital” de una planta, sino en utilizar datos y simulación para comprender mejor el sistema, anticipar escenarios y tomar decisiones antes de que los problemas ocurran en el mundo físico.

Declaraciones

Declaración de contribuciones según el marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026a, 2026b)

Paz Quintanilla Inostroza (Humana): Conceptualización, Metodología, Validación, Investigación, Análisis, Redacción del borrador original, Revisión y edición.

GPT-5.6 Luna (IA): Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición.

Declaración de identidad

La autora autoriza la publicación del informe con su nombre y apellido completos: Paz Quintanilla Inostroza.

Declaración ante modificaciones

La autora autoriza modificaciones o revisiones editoriales posteriores que permitan mejorar el contenido del informe, manteniendo el reconocimiento correspondiente por el trabajo realizado.

Declaración de publicación

La autora autoriza la publicación del informe en sitios web de repositorios e informes académicos.

Este informe se distribuye bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Bibliografía

- Alarcón, C. (2026a). Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition. *Generative Science Preprints*, 2026(07), 19055673.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>
- Alarcón, C. (2026b). Marco Ciencia Generativa. Material de la asignatura Automatización.
- Amazon Web Services. (s. f.). Guidance for Industrial Digital Twin on AWS.
<https://docs.aws.amazon.com/solutions/industrial-digital-twin-on-aws/>
- Lin, S.-W., Watson, K., Shao, G., Stojanovic, L., & Zarkout, B. (2023). Digital Twin Core Conceptual Models and Services [An IIC Technical Report].
https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=935370
- National Institute of Standards and Technology. (2026a, 13 de febrero). Definitions and State of the Art [Página actualizada].
<https://www.nist.gov/digital-twins/definitions-and-state-art>
- National Institute of Standards and Technology. (2026b, 20 de julio). Digital Twins for Advanced Manufacturing [Página actualizada].
<https://www.nist.gov/programs-projects/digital-twins-advanced-manufacturing>
- National Institute of Standards and Technology. (2026c, 22 de julio). Essential Elements [Página actualizada].
<https://www.nist.gov/digital-twins/essential-elements>
- Thomas, D. (2024). Economics of Digital Twins: Costs, Benefits, and Economic Decision Making (NIST AMS 100-61). National Institute of Standards and Technology.
<https://doi.org/10.6028/NIST.AMS.100-61>
- Voas, J., Mell, P., Laplante, P., & Piroumian, V. (2025). Security and Trust Considerations for Digital Twin Technology (NIST IR 8356). National Institute of Standards and Technology.
<https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8356>