

Aplicación de Digital Twin para la modernización de un sistema de almacenamiento industrial

Sebastian Cid

Ingeniería Civil Industrial, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

s.cid07@ufromail.cl

Fecha: 2026-09-22

Resumen

Los Digital Twin permiten representar digitalmente sistemas físicos e incorporar información de su funcionamiento, lo que los convierte en una alternativa aplicable a la modernización de procesos industriales. El objetivo de este informe fue analizar su implementación en una sección de almacenamiento industrial, considerando los sistemas y costos necesarios para evaluar diferentes configuraciones de estanterías, productos y montacargas. Para ello se realizó una investigación apoyada por inteligencia artificial y mediante la revisión de fuentes técnicas, académicas y comerciales relacionadas con estas tecnologías. Como resultado se identificaron los principales sistemas requeridos para una implementación piloto y se obtuvo una estimación preliminar de los costos asociados a su desarrollo. El análisis realizado permitió establecer que un Digital Twin podría facilitar la comparación de diferentes distribuciones del almacén y, a largo plazo, complementarse con métodos de optimización y algoritmos de búsqueda de rutas para apoyar la ubicación de productos y los desplazamientos de los montacargas. En conclusión, esta tecnología presenta potencial para apoyar la modernización de un almacén industrial mediante la evaluación previa de diferentes escenarios antes de realizar modificaciones sobre la instalación física.

1. Introducción

El Digital Twin, o gemelo digital, corresponde a una representación digital de un elemento, sistema o proceso físico que permite analizar su funcionamiento a partir de información asociada al sistema real. La International Organization for Standardization (ISO, 2021), mediante la norma ISO 23247-1, establece un marco para la utilización de gemelos digitales en entornos de manufactura. Por su parte, Kritzinger et al. (2018) distinguen entre modelo digital, sombra digital y Digital Twin según el nivel de integración existente entre el sistema físico y su representación digital. Esta diferencia permite establecer que un gemelo digital no corresponde únicamente a un modelo tridimensional, sino que mantiene una relación con la información proveniente del sistema físico y permite representar su estado y comportamiento.

El almacenamiento industrial corresponde a una etapa importante dentro de los procesos logísticos, debido a que permite organizar y mantener productos o materiales hasta que estos son requeridos para su distribución o utilización. En un almacén pueden encontrarse diferentes elementos, como estanterías, zonas de recepción y despacho, productos con

distintos niveles de rotación y equipos utilizados para transportar cargas, como los montacargas. La forma en que estos elementos se encuentran distribuidos puede afectar las distancias recorridas, los tiempos necesarios para movilizar productos, la utilización del espacio disponible y el funcionamiento general del almacén.

La integración de un Digital Twin en un almacén permitiría representar digitalmente su distribución y relacionarla con información sobre el funcionamiento real de la instalación, como la ubicación de productos, la ocupación de las estanterías y el movimiento de los equipos utilizados para transportar mercancías. Los gemelos digitales han sido estudiados en sistemas logísticos complejos, incluyendo sistemas automatizados de preparación y cumplimiento de pedidos en almacenes, donde la simulación y la integración de datos permiten analizar el desempeño operacional del sistema (Ashrafián & Pedersen, 2023). De esta manera, su aplicación en un almacén podría permitir comparar diferentes configuraciones de estanterías, distribución de productos y utilización de montacargas antes de realizar modificaciones directamente sobre la instalación física.

2. Objetivo

Analizar la implementación de un Digital Twin en una sección de almacenamiento industrial, considerando los sistemas y costos necesarios para su funcionamiento, con el propósito de evaluar distintas configuraciones de estanterías, distribución de productos y utilización de montacargas.

3. Metodología

Para el desarrollo del informe se realizó una investigación apoyada por inteligencia artificial y mediante la consulta de fuentes disponibles en Internet. La inteligencia artificial fue utilizada para orientar la búsqueda de información relacionada con Digital Twin, identificar tecnologías y sistemas necesarios para su implementación en un entorno de almacenamiento industrial, y localizar antecedentes sobre sus aplicaciones, ventajas y costos. Posteriormente, la información obtenida fue contrastada con fuentes técnicas, académicas y páginas oficiales de fabricantes o proveedores, seleccionando aquellas que resultaran pertinentes para el caso estudiado.

A partir de la información recopilada, se planteó un caso de aplicación de Digital Twin en una sección de almacenamiento industrial, considerando elementos como estanterías, productos, zonas de recepción y despacho y montacargas. Sobre esta base se identificaron los sistemas necesarios para representar y conectar el almacén físico con su modelo digital, además de estimar los costos asociados a su implementación. Finalmente, se analizaron las posibilidades que tendría el gemelo digital para comparar diferentes configuraciones del almacén y apoyar la evaluación de alternativas antes de realizar modificaciones sobre la instalación física.

Uso de IA

Para la elaboración del informe se utilizó ChatGPT, mediante el modelo GPT-5.6 Sol, como herramienta de apoyo para la investigación, búsqueda de fuentes, análisis de información, redacción y revisión del documento. La conceptualización del caso de estudio, la definición del enfoque metodológico y la validación de la información utilizada fueron realizadas por el autor. La inteligencia artificial fue utilizada principalmente para apoyar la identificación de tecnologías relacionadas con Digital Twin, la búsqueda y organización de antecedentes, la estimación de costos y el análisis de las alternativas consideradas.

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

Sebastian Cid (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación, Investigación, Análisis formal, Revisión y edición.

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

4. Resultados

A partir de la investigación realizada se planteó la implementación de un Digital Twin para una sección de almacenamiento de cajas y productos movilizables mediante montacargas. La representación digital consideraría las estanterías, pasillos, zonas de recepción y despacho, ubicación de los productos y desplazamiento de los montacargas. NVIDIA dispone de herramientas orientadas a la creación de gemelos digitales de almacenes mediante Omniverse, permitiendo construir entornos tridimensionales, incorporar simulaciones físicas e integrar información proveniente del sistema real (NVIDIA Corporation, s. f.).

Para modernizar la sección estudiada se identificaron cinco sistemas principales. El primero corresponde a un sistema de gestión de almacén o WMS, encargado de mantener información sobre inventario, productos y ubicaciones. El segundo corresponde a un sistema de identificación y seguimiento mediante RFID, permitiendo registrar la entrada, salida y ubicación de cajas o pallets. Los lectores RFID UHF disponibles para aplicaciones de almacenamiento permiten realizar seguimiento de productos durante procesos como recepción, almacenamiento y despacho (Zebra Technologies, 2023). El tercer sistema corresponde a la localización de los montacargas, mediante una tecnología de posicionamiento interior o RTLS, con el objetivo de registrar sus recorridos dentro de la instalación. El cuarto corresponde a la infraestructura de comunicaciones necesaria para transmitir la información entre los dispositivos y el sistema digital. Finalmente, el quinto sistema corresponde a la plataforma de Digital Twin, donde se integraría la información y se representarían las condiciones del almacén.

Para la plataforma de simulación se consideró NVIDIA Omniverse junto con Isaac Sim. Omniverse puede utilizarse para el desarrollo y producción de aplicaciones sin considerar un costo de licencia dentro de una implementación piloto que no requiera soporte empresarial, mientras que dicho soporte puede contratarse de manera adicional (NVIDIA

Corporation, 2026b). Sin embargo, la ejecución de simulaciones mediante Isaac Sim requiere un computador con capacidad suficiente para representar y procesar el entorno digital. Entre las configuraciones recomendadas por NVIDIA se consideran un procesador de al menos ocho núcleos, 64 GB de memoria RAM, almacenamiento SSD y una tarjeta gráfica GeForce RTX 5080 de 16 GB para un nivel de funcionamiento adecuado (NVIDIA Corporation, 2026a).

La Tabla 1 presenta una estimación preliminar del costo de implementar el sistema en una sección piloto del almacén. Para algunos componentes se consideraron referencias comerciales disponibles en Chile durante 2026, mientras que los costos de integración, infraestructura de red, localización y otros elementos corresponden a estimaciones preliminares del proyecto y podrían variar según el tamaño de la instalación, las características de los equipos y el proveedor seleccionado.

Tabla 1. Estimación de costos para una implementación piloto de Digital Twin en almacenamiento industrial.

Componente	Cantidad estimada	Costo estimado
Estación de trabajo para modelado y simulación	1	\$4.200.000
Plataforma NVIDIA Omniverse / Isaac Sim	1	\$0
Lectores RFID UHF para recepción y despacho	2	\$1.660.000
Etiquetas RFID para aproximadamente 500 unidades	500	\$100.000
Sistema de localización de 3 montacargas	1 sistema	\$2.000.000
Infraestructura de red, comunicación y conexión de dispositivos	1 sistema	\$800.000
Modelado 3D, configuración e integración inicial	1 proyecto	\$3.000.000
Total estimado		\$11.760.000

Nota. Elaboración propia a partir de NVIDIA Corporation (2026b), Zebra Technologies (2023), referencias comerciales disponibles en Chile y estimaciones realizadas para el caso de estudio. El costo de la estación de trabajo se estimó utilizando como referencia equipos disponibles en el mercado chileno con características compatibles con los requerimientos de Isaac Sim. Los costos correspondientes a lectores y etiquetas RFID, localización de montacargas, infraestructura de comunicaciones y modelado e integración corresponden a estimaciones preliminares y pueden variar según proveedor, configuración y condiciones de implementación.

Como referencia para la estimación, se consideró una estación de trabajo con características compatibles con los requerimientos establecidos para Isaac Sim, junto con lectores RFID UHF destinados a aplicaciones de gestión de almacenes. Los valores incorporados en la

Tabla 1 corresponden a una estimación preliminar del proyecto y pueden variar según el proveedor, las características específicas de los equipos y las condiciones de implementación. Los costos correspondientes a localización de montacargas, infraestructura de comunicaciones y modelado e integración también requerirían cotizaciones específicas para una implementación real.

Una vez implementados estos sistemas, el Digital Twin permitiría representar diferentes escenarios de funcionamiento del almacén. Entre las variables que podrían modificarse se encuentran la disposición de las estanterías, la ubicación de productos según su frecuencia de movimiento, la cantidad de montacargas disponibles y las rutas utilizadas para llegar desde las estanterías hasta las zonas de recepción o despacho. La comparación de los escenarios podría realizarse mediante indicadores como distancia total recorrida por los montacargas, tiempo promedio de preparación de pedidos, utilización de los equipos y capacidad de almacenamiento.

De esta forma, el sistema permitiría comparar una configuración inicial del almacén con diferentes alternativas sin modificar previamente la instalación física. Por ejemplo, podrían evaluarse escenarios donde los productos de mayor rotación se ubiquen próximos a la zona de despacho, configuraciones con diferentes cantidades y orientaciones de estanterías o cambios en el número de montacargas utilizados. Los resultados de estas simulaciones entregarían valores comparables para determinar cuál de las configuraciones estudiadas presenta el mejor desempeño según los indicadores seleccionados.

5. Discusión

La implementación de un Digital Twin en una sección de almacenamiento podría generar beneficios principalmente al permitir representar y analizar el funcionamiento del almacén antes de realizar modificaciones sobre la instalación física. Al disponer de información sobre las estanterías, zonas de recepción y despacho, productos almacenados y movimientos de los montacargas, sería posible comparar diferentes configuraciones y observar cómo estas afectan las distancias recorridas, los tiempos de operación y la utilización de los equipos. De esta manera, el gemelo digital podría actuar como una herramienta de apoyo para tomar decisiones con mayor información y disminuir el riesgo asociado a realizar cambios directamente sobre el almacén.

Uno de los principales usos del sistema estaría relacionado con la ubicación de los productos dentro de las estanterías. En un almacén existen productos con diferentes frecuencias de entrada y salida, por lo que mantener aquellos de mayor movimiento en sectores alejados puede provocar recorridos innecesarios de los montacargas. Mediante el Digital Twin sería posible analizar distintas distribuciones y evaluar, por ejemplo, si trasladar los productos de mayor rotación hacia posiciones cercanas a las zonas de recepción o despacho disminuye los tiempos y distancias de desplazamiento. Sin embargo, esta decisión también debería considerar aspectos como el espacio disponible, la capacidad de las estanterías y la circulación dentro de los pasillos.

Como una ampliación futura, el Digital Twin podría incorporar un método de optimización basado en el problema de asignación de ubicaciones de almacenamiento, conocido como Storage Location Assignment Problem (SLAP). Este tipo de problema busca determinar en qué posiciones deberían almacenarse los diferentes productos considerando información como su demanda, frecuencia de movimiento, espacio disponible y distancia entre las ubicaciones del almacén. Existen diferentes formas de resolverlo, incluyendo métodos de programación matemática y algoritmos heurísticos, y su aplicación puede orientarse a disminuir las distancias recorridas y mejorar la utilización del espacio (Prunet et al., 2025). En el caso propuesto, el Digital Twin podría proporcionar continuamente la información necesaria para que este sistema recomiende dónde resulta más conveniente almacenar un producto.

Una vez determinada la ubicación de un producto, también sería posible calcular una ruta adecuada para que el montacargas llegue hasta ella. Para esto se podría utilizar el algoritmo de Dijkstra, desarrollado para determinar caminos de menor costo entre puntos dentro de una red (Dijkstra, 1959). Otra alternativa corresponde al algoritmo A*, que incorpora una estimación de la distancia restante hasta el destino para orientar la búsqueda hacia las alternativas más convenientes (Hart et al., 1968). En un almacén, los pasillos e intersecciones podrían representarse como una red de posibles recorridos, permitiendo utilizar estos algoritmos para buscar rutas entre las zonas de recepción o despacho y las distintas posiciones de almacenamiento.

La combinación de ambos procedimientos permitiría que, ante la llegada de un producto, el sistema pudiera primero recomendar una ubicación dentro de las estanterías y posteriormente determinar una ruta conveniente para que el montacargas llegue hasta ella. El Digital Twin permitiría además comprobar el comportamiento de esta decisión dentro del conjunto del almacén, ya que la ruta de menor distancia no necesariamente representa siempre la mejor alternativa si existen congestiones, cruces entre montacargas o sectores con una alta cantidad de movimientos. La asignación de ubicaciones y la planificación de rutas son problemas estrechamente relacionados dentro del funcionamiento de un almacén y pueden analizarse conjuntamente para reducir los recorridos asociados a las operaciones de almacenamiento y preparación de pedidos.

Sin embargo, el sistema planteado en este informe no puede considerarse actualmente como un almacén optimizado, ya que la propuesta se concentra principalmente en la implementación del Digital Twin y no en el desarrollo completo de un modelo matemático de optimización. La incorporación del SLAP y de algoritmos de búsqueda de rutas como Dijkstra o A* corresponde a una posible evolución del sistema. Esta ampliación permitiría que el gemelo digital pase de utilizarse principalmente para representar y comparar escenarios a convertirse también en una herramienta capaz de apoyar la generación de recomendaciones sobre la ubicación de productos y los desplazamientos de los montacargas.

Finalmente, aunque la implementación inicial requiere una inversión en equipos, identificación de productos, comunicaciones, integración y capacidad computacional, el

principal beneficio potencial del Digital Twin estaría en utilizar la información del almacén para evaluar modificaciones antes de aplicarlas físicamente. Esto permitiría estudiar cambios en las estanterías, modificar la ubicación de productos, analizar la cantidad de montacargas requerida y evaluar diferentes recorridos sin interrumpir inicialmente la operación real. A largo plazo, la incorporación de herramientas de optimización podría aumentar este beneficio, permitiendo que el Digital Twin no solamente represente lo que ocurre en el almacén, sino que también sirva como base para buscar configuraciones de mejor desempeño.

5.1 Valoración del uso de IA

La inteligencia artificial generativa fue utilizada como apoyo para investigar tecnologías relacionadas con Digital Twin, identificar los sistemas necesarios para su implementación en un almacén industrial, organizar la información recopilada, comparar alternativas, apoyar la estimación de costos y redactar el borrador del informe. Además, permitió explorar posibles formas de ampliar el sistema mediante métodos de optimización para la asignación de productos y algoritmos de búsqueda de rutas para los montacargas. Su utilización facilitó la revisión de una mayor cantidad de información y permitió estructurar con mayor rapidez la propuesta desarrollada.

Sin embargo, durante el proceso fue necesario comprobar directamente las características de las tecnologías consideradas, los costos de los componentes y las fuentes utilizadas, debido a que parte de la información comercial puede variar según el proveedor, la configuración del sistema y el momento de consulta. También fue necesario revisar que las propuestas de optimización planteadas fueran coherentes con el alcance del informe y no se presentaran como funciones ya implementadas en el Digital Twin. Por esta razón, la IA fue utilizada como una herramienta de apoyo para la investigación, análisis y redacción, manteniéndose la validación de la información y las decisiones sobre la propuesta bajo responsabilidad del autor.

6. Conclusiones

La implementación de un Digital Twin en una sección de almacenamiento industrial permitiría representar digitalmente la distribución del almacén y relacionarla con información sobre productos, estanterías, zonas de recepción y despacho y movimientos de los montacargas. A partir de esta representación sería posible comparar diferentes configuraciones antes de realizar modificaciones sobre la instalación física, reduciendo el riesgo asociado a cambios que podrían no generar los resultados esperados.

La propuesta desarrollada permitió identificar los principales sistemas requeridos para este tipo de modernización, incluyendo gestión de inventario, identificación de productos, localización de montacargas, infraestructura de comunicaciones y una plataforma de Digital Twin. También se obtuvo una estimación preliminar de los costos necesarios para una implementación piloto, permitiendo dimensionar de forma inicial los recursos tecnológicos y económicos requeridos.

Uno de los principales aportes potenciales del sistema corresponde a la posibilidad de analizar la ubicación de los productos y los recorridos realizados por los montacargas. A largo plazo, el Digital Twin podría complementarse con métodos de optimización para recomendar ubicaciones de almacenamiento y con algoritmos de búsqueda de rutas, como Dijkstra o A*, para disminuir desplazamientos innecesarios y evaluar alternativas de mejor desempeño.

En conclusión, el Digital Twin se presenta como una herramienta con potencial para apoyar la modernización de un almacén industrial, debido a que permite integrar información del sistema real con una representación digital capaz de evaluar escenarios y apoyar la toma de decisiones. Sin embargo, para comprobar los beneficios económicos y operacionales de la propuesta sería necesario implementar y validar el sistema en una instalación real.

7. Declaraciones

Intención de publicación con nombre y apellido real

Declaro que autorizo la publicación de este informe utilizando mi nombre y apellido real.

Consentimiento de modificación por coautores

Declaro que no autorizo que este informe sea modificado directamente por coautores. En caso de requerirse alguna corrección o modificación, esta podrá ser realizada por mí previa notificación o solicitud mediante correo electrónico.

Consentimiento de publicación en sitios web

Declaro que autorizo la publicación de este informe en sitios web de informes académicos.

Licencia: Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> - versión actualizada 2026-09-22.

8. Bibliografía

- Alarcón, C. (2026). 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>
- Ashrafián, A., & Pedersen, S. (2023). Digital Twin for complex logistics systems: The case study of a large-scale automated order picking and fulfillment system. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 11056-11061. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.808>
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269-271. <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100-107. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- International Organization for Standardization. (2021). Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 1: Overview and general principles (ISO 23247-1:2021). <https://www.iso.org/standard/75066.html>
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- NVIDIA Corporation. (2026a). Isaac Sim requirements [Documentación actualizada el 18 de septiembre de 2026]. <https://docs.isaacsim.omniverse.nvidia.com/latest/installation/requirements.html>
- NVIDIA Corporation. (2026b). Omniverse licensing [Documentación actualizada el 5 de octubre de 2026]. https://docs.omniverse.nvidia.com/materials-and-rendering/latest/common/NVIDIA_Omniverse_License_Agreement.html
- NVIDIA Corporation. (s. f.). Building warehouse digital twins with NVIDIA Omniverse. NVIDIA Omniverse Documentation. <https://docs.omniverse.nvidia.com/digital-twins/latest/building-warehouse-digital-twins.html>
- Prunet, T., Absi, N., & Cattaruzza, D. (2025). The storage location assignment and picker routing problem: A generic branch-cut-and-price algorithm. *European Journal of Operational Research*, 327(3), 857-874. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.05.041>
- Zebra Technologies. (2023, 25 de enero). Hoja de especificaciones del lector fijo de RFID UHF FX9600 (SS-FX9600). <https://www.zebra.com/la/es/products/spec-sheets/rfid/rfid-readers/fx9600.html>