

DIGITAL TWIN Y SUS VENTAJAS PARA LA MODERNIZACIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL

Curso de Automatización | Semestre 2026-02

Autor	Vicente Rojas
Correo	v.rojas06@ufrontera.cl
Fecha	2026-09-22

Resumen

Este informe analiza el concepto de gemelo digital y su aplicación para modernizar una sección de una planta industrial. Se adoptó como caso una línea de envasado compuesta por alimentación, llenado, sellado y transporte. A partir de una arquitectura de cinco sistemas funcionales se estimó una inversión referencial de USD 66.000, equivalente a aproximadamente CLP 62,7 millones bajo un supuesto de 950 CLP por dólar. Los resultados muestran que el gemelo digital integra datos de sensores, conectividad, almacenamiento, modelación y visualización para observar, diagnosticar, predecir y optimizar el proceso. Sus principales ventajas son probar cambios sin intervenir inmediatamente la planta, anticipar fallas, reducir detenciones y mejorar el uso de energía y materiales. La conveniencia económica depende de la calidad de los datos, la integración con los equipos existentes y el valor de las pérdidas que el sistema pueda evitar.

1. Introducción

La modernización industrial ya no depende únicamente de sustituir maquinaria. Una planta también puede mejorar cuando conoce con mayor precisión el estado de sus activos, relaciona datos históricos con el comportamiento actual y prueba decisiones antes de aplicarlas. En este contexto surge el Digital Twin o gemelo digital: una representación computacional conectada con un elemento físico y actualizada mediante datos relevantes de su operación.

El National Institute of Standards and Technology señala que los gemelos digitales permiten observar, diagnosticar, predecir y optimizar sistemas de manufactura en condiciones cercanas al tiempo real (NIST, 2025). Su relevancia para Automatización consiste en que articula sensores, control, comunicaciones, modelos y análisis dentro de un mismo sistema de apoyo a decisiones. Este informe se concentra en explicar el concepto, estimar los sistemas y costos necesarios para una sección de planta, y establecer las ventajas y condiciones de una modernización de este tipo.

2. Objetivo

Evaluar la aplicación de un gemelo digital en la modernización de una línea de envasado industrial, mediante la definición de su arquitectura funcional y una estimación referencial de sistemas, costos y beneficios, con el propósito de determinar su aporte potencial a la supervisión, mantenimiento y optimización del proceso.

3. Metodología

Se utilizó un enfoque técnico-descriptivo y una estimación de orden de magnitud. Primero, se revisaron la definición y la arquitectura general propuestas por NIST y por la serie ISO 23247 para manufactura. Segundo, se delimitó un caso hipotético: una línea de envasado con cuatro etapas físicas -alimentación, llenado, sellado y transporte- y con equipos que pueden entregar señales de producción, temperatura, vibración, corriente y estado. Tercero, se agrupó la solución en cinco sistemas funcionales y se asignaron costos referenciales de hardware, integración, software e implementación. Finalmente, se identificaron ventajas y riesgos a partir de las funciones que el gemelo podría cumplir.

Las cifras corresponden a una prefactibilidad académica, no a una cotización comercial. Se expresan en dólares estadounidenses y se convierten a pesos chilenos usando un supuesto redondeado de 950 CLP/USD. El costo real puede variar por cantidad de señales, estado de la automatización existente, licencias, ciberseguridad, exigencia de tiempo real y necesidad de crear modelos tridimensionales o físicos de alta fidelidad.

3.1. Uso de IA

Declaración de contribuciones según el marco Ciencia Generativa (Alarcón, 2026): Vicente Rojas (humano) participó en Conceptualización, Metodología, Redacción del borrador original y Validación final. ChatGPT de OpenAI, modelo GPT-5 (IA), participó en Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original y Revisión y edición. La IA evaluó la distribución efectiva de roles a partir del material entregado: el aporte humano definió la temática, las ideas iniciales, los ejemplos de manufactura y la orientación del informe; la IA amplió la investigación, estructuró la estimación técnica y revisó la redacción. En términos aproximados, la contribución se distribuye en 45% humana y 55% de IA para esta versión. El autor debe contrastar esta evaluación con su proceso real y validar el documento antes de entregarlo.

4. Resultados

4.1. Concepto y funcionamiento del gemelo digital

Un gemelo digital es una representación digital de un elemento físico observable -una máquina, una línea, un edificio o incluso un sistema urbano- que combina un modelo con datos del elemento real. No es solamente un dibujo 3D ni una simulación aislada. La característica central es la conexión informacional: las mediciones del sistema físico actualizan el estado digital y el análisis del modelo entrega información para comprender o mejorar la operación.

En manufactura, la serie ISO 23247 establece principios y una arquitectura de referencia para gemelos digitales de elementos observables, incluidos equipos, procesos y otros componentes de producción (ISO, 2021a, 2021b). En la línea de envasado propuesta, el flujo funcional sería: sensores y controladores capturan datos; una red industrial los transporta; una plataforma los almacena y organiza; un modelo reproduce estados y relaciones; y un tablero presenta indicadores, alarmas y escenarios. El sistema puede comenzar con variables críticas y aumentar su fidelidad a medida que se validan los datos.

4.2. Sistemas necesarios para modernizar la sección

La modernización propuesta requiere cinco sistemas funcionales. Cada sistema puede contener varios dispositivos o servicios, pero se cuenta como una unidad porque cumple una función diferenciada dentro de la arquitectura:

1. Sistema 1 - instrumentación y adquisición: sensores de vibración, temperatura, corriente, conteo y calidad, además de señales disponibles desde PLC.
2. Sistema 2 - conectividad industrial: gateway, red Ethernet/inalámbrica industrial, protocolos y normalización de datos.
3. Sistema 3 - plataforma de datos: almacenamiento histórico, gestión de activos, respaldo y control de acceso.
4. Sistema 4 - modelo del gemelo: lógica del proceso, relaciones entre variables, simulación y modelos predictivos.
5. Sistema 5 - visualización y apoyo a decisiones: paneles, alarmas, indicadores, escenarios y acceso para operación y mantenimiento.

4.3. Estimación de costos

La Tabla 1 presenta el presupuesto referencial para implementar un piloto funcional en una sola línea. La estimación incluye contingencia, porque en proyectos de integración suelen aparecer equipos sin documentación actualizada, señales incompatibles o trabajo adicional de configuración.

Tabla 1. Estimación referencial de inversión para un gemelo digital de una línea de envasado.

Componente	Alcance	USD
Instrumentación y adquisición	Sensores, acondicionamiento y conexión a PLC	14.000
Conectividad industrial	Gateway, red, protocolos e instalación	8.000
Plataforma de datos	Configuración, almacenamiento y seguridad inicial	7.000
Modelo del gemelo	Modelación, reglas, simulación y validación	18.000
Visualización y capacitación	Paneles, alarmas, pruebas y formación	9.000
Contingencia de integración	Aproximadamente 18% de costos base	10.000
Total estimado	Piloto para una línea de envasado	66.000

Nota. Elaboración propia. Valores de prefactibilidad; no constituyen cotización. Conversión referencial: $\text{USD } 66.000 \times 950 \text{ CLP/USD} = \text{CLP } 62.700.000$.

El presupuesto representa un proyecto de complejidad media y se encuentra dentro del intervalo amplio planteado en el borrador original: desde pilotos cercanos a USD 10.000 hasta implementaciones corporativas que pueden superar USD 1 millón. La amplitud se explica porque un gemelo de una máquina con pocas señales no tiene el mismo alcance que una planta completa con modelos físicos, integración empresarial, alta disponibilidad y múltiples usuarios. Además, servicios administrados como AWS IoT TwinMaker utilizan cobros variables según entidades, consultas y acceso a datos, por lo que el gasto operativo depende del uso efectivo (AWS, 2026).

4.4. Ventajas obtenidas

Para el caso estudiado se identificaron seis ventajas principales:

- Visibilidad integrada: reunir producción, estado, calidad y consumo en un mismo contexto digital.
- Mantenimiento predictivo: detectar tendencias de vibración, temperatura o corriente antes de una detención.
- Pruebas sin intervenir la planta: comparar velocidades, secuencias o planes de mantenimiento en el modelo.
- Optimización de recursos: localizar esperas, pérdidas de material y consumos energéticos evitables.
- Capacitación y comprensión: mostrar relaciones entre componentes y consecuencias de cambios operacionales.
- Escalabilidad: validar una línea y luego replicar componentes del modelo en otras secciones.

Estas ventajas son coherentes con NIST, que asocia los gemelos digitales con observación, diagnóstico, predicción y optimización. Desde el punto de vista económico, NIST también indica que la conveniencia depende de la complejidad y sensibilidad del sistema, además de los costos y beneficios relevantes para la decisión de inversión (Thomas, 2024).

5. Discusión

Los resultados respaldan la idea inicial del borrador: visualizar digitalmente un sistema permite reconocer puntos de mejora y preparar un plan de acción con mayor claridad. Sin embargo, la precisión del gemelo no proviene automáticamente de la apariencia 3D. Depende de que las variables relevantes sean medidas, sincronizadas y validadas. Un modelo visualmente atractivo, pero alimentado con datos incompletos, puede conducir a conclusiones incorrectas.

Para una pequeña o mediana planta resulta más razonable iniciar con una sección crítica que intentar representar toda la instalación. Una línea de envasado ofrece un alcance acotado, indicadores fáciles de definir y pérdidas observables por detenciones, rechazos o baja velocidad. Si el piloto demuestra beneficios, la arquitectura puede escalar. Por el contrario, comenzar con toda la planta eleva costos, tiempo e incertidumbre antes de comprobar el valor.

La inversión de USD 66.000 solo sería justificable si el sistema evita pérdidas comparables durante su vida útil. Por ejemplo, debe contrastarse con horas de detención, productos rechazados, consumo energético y tiempo de diagnóstico. La decisión no puede fundarse únicamente en que la tecnología es innovadora. También debe considerar interoperabilidad, ciberseguridad, capacitación, mantenimiento del modelo y propiedad de los datos.

Respecto del uso real de IA, ChatGPT permitió ampliar la definición, ordenar los cinco sistemas y construir una estimación coherente. Su principal limitación es que no conoce el inventario técnico ni los precios cotizados de una planta real; por eso, sus cifras se utilizaron como supuestos explícitos y no como datos comprobados. La validación humana sigue siendo necesaria para confirmar el alcance, reemplazar estimaciones por cotizaciones y decidir si los beneficios justifican la inversión.

6. Conclusiones

Un gemelo digital es una representación computacional conectada con un sistema físico, diseñada para observar su estado, analizar su comportamiento y evaluar mejoras. Para modernizar una línea de envasado se propusieron cinco sistemas: instrumentación, conectividad, plataforma de

datos, modelo digital y visualización. El piloto fue estimado en USD 66.000, aproximadamente CLP 62,7 millones bajo el supuesto utilizado.

El aporte principal del gemelo digital es convertir datos dispersos en una herramienta de decisión. Permite anticipar fallas, probar cambios sin interrumpir inmediatamente la producción, optimizar recursos y comprender mejor el proceso. No obstante, el resultado depende de datos confiables, integración técnica y un objetivo de negocio medible. La estrategia recomendada es comenzar con una sección crítica, validar el modelo y los beneficios, y escalar únicamente después de demostrar valor económico y operacional.

7. Licencia

Este trabajo se disponibiliza bajo una licencia Creative Commons 4.0, conforme a lo indicado en los requerimientos del curso.

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>

Amazon Web Services. (2026). AWS IoT TwinMaker pricing. <https://aws.amazon.com/iot-twinmaker/pricing/>

International Organization for Standardization. (2021a). 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>

International Organization for Standardization. (2021b). Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 2: Reference architecture (ISO 23247-2:2021). <https://www.iso.org/standard/78743.html>

National Institute of Standards and Technology. (2025). Digital twins. <https://www.nist.gov/digital-twins>

Thomas, D. (2024). Economics of digital twins: Costs, benefits, and economic decision making (NIST Advanced Manufacturing Series 100-61). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.AMS.100-61>