

Informe Semana 03

Implementación de un gemelo digital para modernizar una sección de envasado industrial: definición, arquitectura, estimación de costos y ventajas operacionales

Autor: Ignacio Baltazar Riquelme Vergara

Correo: i.riquelme10@ufromail.cl

Fecha: 2026-09-27

Resumen

Este informe analiza cómo un gemelo digital, también llamado Digital Twin, puede ayudar a modernizar una sección pequeña o mediana de envasado industrial. La idea consiste en crear una representación digital del proceso que reciba datos de los equipos reales y permita revisar su estado, detectar problemas, probar cambios y apoyar la toma de decisiones. Para el ejemplo se propone una solución formada por seis sistemas principales: sensores y control, conectividad y procesamiento local, almacenamiento de datos, modelo digital, análisis y visualización, e integración con los sistemas de gestión. Para un proyecto piloto se estima una inversión inicial de USD 97.400, equivalente a aproximadamente CLP 92,5 millones usando un tipo de cambio supuesto de CLP 950 por dólar. Desde el segundo año se considera un costo recurrente cercano a USD 13.200 anuales. Los valores son referenciales y pueden variar aproximadamente un 30 %. Entre las principales ventajas están una mejor visión del proceso, apoyo al mantenimiento, posibilidad de probar cambios con menor riesgo y mejor uso de la información de producción. La recomendación es comenzar con un piloto acotado, medir la situación actual y ampliar la solución solamente si se obtienen beneficios comprobables.

1. Introducción

La automatización industrial permite medir y controlar equipos mediante sensores, controladores y sistemas de supervisión. Sin embargo, muchas veces la información queda separada en distintos equipos o programas, lo que hace más difícil observar el proceso completo. Un gemelo digital busca mejorar esta situación al reunir datos actuales e históricos y relacionarlos con una representación digital del proceso.

En manufactura, un gemelo digital puede utilizarse para conocer el estado de una máquina o una línea, revisar tendencias, analizar posibles causas de un problema y probar escenarios antes de aplicarlos físicamente. NIST describe estos sistemas como modelos virtuales sincronizados que pueden apoyar tareas de representación, diagnóstico, predicción y optimización (NIST, 2024). La norma ISO 23247-1:2021 también establece principios generales para el uso de gemelos digitales en manufactura (ISO, 2021).

Es importante aclarar que un gemelo digital no es solamente un modelo en tres dimensiones. Para que sea útil debe recibir información del sistema real, tener un propósito definido y entregar resultados que ayuden a tomar decisiones. En este informe se analiza un caso sencillo aplicado a una sección de envasado compuesta por transportadores, una llenadora, una selladora, una etiquetadora y una encajonadora. El objetivo es explicar qué se necesita para implementar esta tecnología, cuánto podría costar y qué beneficios podría entregar.

2. Objetivo

Analizar la implementación de un gemelo digital en una sección de envasado industrial, identificando los sistemas necesarios, estimando el costo aproximado de un proyecto piloto y revisando sus principales ventajas, con el fin de evaluar si esta tecnología puede ser una alternativa útil para modernizar el proceso.

3. Metodología

Para realizar este informe se revisaron documentos técnicos, normas y material de proveedores relacionados con gemelos digitales. Luego se definió un caso de estudio hipotético formado por una sección de envasado con transportadores, llenadora, selladora, etiquetadora y encajonadora, trabajando en dos turnos.

La solución se dividió en seis sistemas principales para facilitar su explicación y estimación de costos. El presupuesto considera ingeniería, sensores, conectividad, almacenamiento de datos, configuración del gemelo, paneles de información, pruebas, ciberseguridad, capacitación y una reserva para imprevistos. Los valores no corresponden a una cotización real y deben entenderse solamente como una referencia académica.

Para expresar algunos valores en pesos chilenos se utilizó un tipo de cambio supuesto de CLP 950 por USD. También se consideró un margen aproximado de variación de $\pm 30\%$, porque todavía no existe un levantamiento real de la planta, una lista definitiva de señales ni proveedores seleccionados. Los beneficios económicos se presentan como un ejemplo de cálculo y no como ahorros garantizados.

3.1. Uso de IA

Para desarrollar este informe se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol de OpenAI, como herramienta de apoyo para organizar información, revisar fuentes, desarrollar el ejemplo, realizar cálculos simples, preparar tablas y mejorar la redacción. La selección del tema y el propósito académico corresponden al autor. La inteligencia artificial apoyó principalmente la construcción del caso, la organización del análisis y la preparación del borrador. La revisión final, la comprobación de las fuentes y la decisión de entregar el contenido permanecen bajo responsabilidad humana, de acuerdo con el marco de Ciencia Generativa utilizado en la asignatura (Alarcón, 2026).

4. Resultados

4.1. Concepto y alcance del gemelo digital

Para este informe, un gemelo digital se entiende como una representación digital de una máquina, equipo o proceso real que se actualiza con datos y se utiliza para apoyar una tarea concreta. Debe existir una relación clara con el elemento físico, recibir información de su funcionamiento y entregar resultados que ayuden a observar, analizar o tomar decisiones. NIST (s. f.) señala que la predicción puede formar parte de funciones como simulación, monitoreo y optimización. Plataformas como Azure Digital Twins y AWS IoT TwinMaker también permiten relacionar datos de sensores y sistemas de una instalación para crear una visión conjunta del proceso (Microsoft, 2025; AWS, s. f.-b).

El alcance propuesto corresponde solamente a la sección de envasado y no a toda la planta. Se consideran cinco equipos principales, los transportadores que los conectan, los lotes procesados y variables como velocidad, estado de operación, vibración, temperatura, consumo eléctrico, cantidad producida, rechazos y tiempos de detención. Durante un proyecto piloto, el sistema debería entregar información y recomendaciones, pero no controlar automáticamente la planta sin una revisión previa de seguridad.

4.2. Sistemas necesarios

La propuesta se organiza en seis sistemas que trabajan en conjunto. La siguiente figura muestra el recorrido de la información desde los equipos de la planta hasta los sistemas de gestión.

Figura 1. Flujo simplificado del gemelo digital propuesto. Los datos se capturan en la planta, se procesan y finalmente se convierten en información útil para mantenimiento y producción.

1. Sensores y control	2. Conectividad y procesamiento local	3. Datos e historial	4. Modelo digital	5. Análisis y paneles	6. Integración con gestión
-----------------------	---------------------------------------	----------------------	-------------------	-----------------------	----------------------------

La Tabla 1 resume la función de cada sistema. Aunque una empresa puede reunir varias funciones en una misma plataforma, es útil separarlas para entender qué se necesita y dónde se generan los principales costos.

Tabla 1. Sistemas funcionales requeridos para el proyecto piloto. En este informe se evita separar innecesariamente las herramientas técnicas y se agrupan según la función que cumplen.

N.º	Sistema	Contenido principal	Resultado esperado
1	Sensores y control	Sensores, controladores existentes, medición eléctrica y conteos de producción.	Datos confiables sobre el estado real de los equipos.
2	Conectividad y procesamiento local	Red industrial, gateway, comunicación entre equipos y procesamiento básico cerca de la planta.	Transmisión estable de datos y continuidad cuando existen problemas de conexión.
3	Datos e historial	Recepción, almacenamiento y orden de las señales registradas.	Historial consistente para revisar tendencias y comparar periodos.
4	Modelo del gemelo	Representación de equipos, relaciones, estados y reglas de funcionamiento.	Modelo digital actualizado que pueda apoyar simulaciones y análisis.
5	Análisis y visualización	Indicadores de desempeño, tendencias, anomalías, alertas y paneles.	Detección temprana de cambios y mejor apoyo a las decisiones.
6	Integración con gestión	Conexión con sistemas de mantenimiento, producción y administración de usuarios.	Convertir los resultados del análisis en tareas o acciones de gestión.

Nota. En el documento original se utilizan algunos términos técnicos como OT, MES, ERP y CMMS. En esta versión se expresan principalmente como red industrial, sistema de producción, sistema de gestión y sistema de mantenimiento para facilitar la comprensión.

4.3. Estimación de costos

Para el ejemplo se considera un piloto que conecta aproximadamente 40 señales y cinco equipos. También se incluye un periodo inicial de seis meses para instalar, configurar y probar la solución, seguido de una operación normal con servicios en la nube. Plataformas como Azure Digital Twins y las soluciones industriales de AWS cobran según el uso de datos y servicios, por lo que el costo final depende de la cantidad de información que se procese (Microsoft, s. f.; AWS, s. f.-a).

En este caso, la mayor parte del presupuesto no corresponde solamente al software, sino también al trabajo de ingeniería, sensores, integración, pruebas y capacitación. La Tabla 2 muestra la estimación utilizada.

Tabla 2. Estimación de inversión para el primer año del proyecto piloto. Los valores son referenciales, no corresponden a cotizaciones de proveedores y pueden variar aproximadamente $\pm 30\%$.

Partida	Costo estimado	Alcance
Diagnóstico e ingeniería conceptual	USD 6.000	Revisión de equipos, señales, proceso, indicadores y riesgos.
Sensores e instrumentación	USD 18.000	Sensores adicionales, medidores, instalación y calibración.
Gateway, red y procesamiento local	USD 9.500	Equipo de conexión, comunicaciones, separación de red y respaldo.
Modelo, simulación y configuración del gemelo	USD 22.000	Creación del modelo de equipos, relaciones, reglas y comportamiento.
Nube, almacenamiento y licencias - año 1	USD 7.200	Supuesto de USD 600 mensuales para servicios y almacenamiento.
Paneles, análisis e integración	USD 14.000	Indicadores, alarmas, paneles y conexión inicial con mantenimiento.
Pruebas, ciberseguridad y capacitación	USD 8.000	Validación del sistema, medidas de seguridad, capacitación y documentación.
Reserva para imprevistos (15 %)	USD 12.700	Margen para incompatibilidades, señales no previstas y ajustes.
Total estimado del primer año	USD 97.400	Aproximadamente CLP 92,5 millones con un tipo de cambio supuesto de CLP 950/USD.

Con el margen indicado, el costo del primer año podría ubicarse aproximadamente entre USD 68.200 y USD 126.600. Desde el segundo año se estima un gasto cercano a USD 13.200 anuales, compuesto por USD 7.200 de nube y licencias y USD 6.000 para soporte, calibración y mejora del modelo. No se consideran cambios grandes de maquinaria, reemplazos importantes de controladores ni detenciones prolongadas de la producción.

4.4. Ventajas esperadas

Mayor visibilidad del proceso. Permite revisar en un mismo lugar el estado de los equipos, alarmas, producción, rechazos y detenciones, reduciendo la dependencia de registros separados.

Apoyo al mantenimiento. Las tendencias de vibración, temperatura y consumo pueden ayudar a decidir qué equipos conviene revisar primero y a detectar cambios antes de una falla importante.

Pruebas con menor riesgo. Algunos cambios de velocidad, secuencia o capacidad pueden revisarse primero en el modelo digital antes de aplicarlos en la planta. Armstrong et al. (2026) destacan que este tipo de tecnología permite realizar pruebas virtuales de forma más segura y con menor impacto sobre la operación.

Mejora de calidad y productividad. Relacionar los datos del proceso con detenciones y rechazos puede ayudar a identificar cuellos de botella y comparar alternativas sin interrumpir inmediatamente la producción.

Capacitación y conocimiento. El modelo puede servir como apoyo para explicar cómo se relacionan los equipos y qué ocurre cuando cambia una parte del proceso.

Posibilidad de crecer por etapas. Si el piloto funciona, la solución puede ampliarse a otras líneas reutilizando parte de los modelos, conexiones e indicadores ya creados.

4.5. Escenario para medir el valor

Para saber si el proyecto realmente entrega beneficios, primero es necesario medir la situación actual de la planta. El ejemplo de la Tabla 3 utiliza valores supuestos para mostrar qué podría medirse. Los datos reales deberían levantarse durante al menos tres meses antes de comparar resultados.

Tabla 3. Ejemplo de beneficios anuales que podrían medirse. Bajo estos supuestos, el periodo simple de recuperación sería cercano a 3,4 años (USD 97.400 / USD 28.900), sin considerar impuestos ni descuento financiero.

Indicador	Situación inicial supuesta	Mejora considerada	Beneficio anual
Detenciones no planificadas	30 h/mes a USD 300/h	20 % menos horas	USD 21.600
Merma y rechazo	USD 30.000/año	15 % de reducción	USD 4.500
Energía	USD 120.000/año	5 % de reducción	USD 6.000
Cambios de formato y diagnóstico	USD 50.000/año	20 % de reducción	USD 10.000
Beneficio bruto estimado	-	Suma de beneficios	USD 42.100
Beneficio neto desde el año 2	-	Menos USD 13.200 recurrentes	USD 28.900

Este cálculo sirve únicamente para mostrar una forma de evaluar el proyecto. Si una planta decide implementar el piloto, los beneficios deberían comprobarse con indicadores reales antes y después de la implementación.

5. Discusión

Los resultados muestran que un gemelo digital no funciona como una aplicación aislada. Para que sea útil se necesitan datos confiables, una conexión estable, un modelo con un propósito claro y una forma de convertir las alertas o resultados en acciones concretas. Por esta razón, una parte importante del costo está en sensores, ingeniería e integración y no solamente en la plataforma digital.

El costo también dependerá mucho del estado actual de la planta. Una instalación que ya cuenta con sensores, redes y datos históricos podría necesitar una inversión menor. En cambio, una planta con equipos antiguos, documentación incompleta o sistemas que no se comunican fácilmente podría superar el valor estimado.

Una de las ventajas más interesantes es poder probar alternativas antes de modificar físicamente el proceso. Sin embargo, el modelo digital nunca será idéntico a la realidad. Siempre puede existir algún error en los sensores, en los supuestos o en la forma de representar el proceso. Por eso, durante el piloto conviene utilizar el sistema principalmente para entregar recomendaciones y no para modificar automáticamente los controladores de la planta.

Desde el punto de vista económico, el ejemplo entrega un periodo simple de recuperación cercano a 3,4 años. Este resultado puede ser razonable si la infraestructura se reutiliza durante varios años, pero depende de que los ahorros se deban realmente al gemelo digital. Para decidir si se amplía el proyecto se deberían comparar indicadores como disponibilidad, producción, calidad, horas de detención, consumo de energía y precisión de las alertas.

La inteligencia artificial fue útil para organizar la información, proponer la estructura del caso, realizar cálculos y mejorar la redacción. Sin embargo, no se inspeccionó una planta real ni se utilizaron cotizaciones comerciales. Por lo tanto, los valores de este informe deben entenderse como supuestos académicos y no como una propuesta técnica definitiva.

6. Conclusiones

Un gemelo digital puede ser una herramienta útil para modernizar una sección de producción cuando se utiliza con un objetivo concreto y con datos confiables. No se trata solamente de crear una imagen o modelo en tres dimensiones, sino de mantener una representación digital actualizada que ayude a observar y analizar el proceso. Para el caso de envasado analizado se identificaron seis sistemas principales: sensores y control, conectividad y procesamiento local, almacenamiento de datos, modelo digital, análisis y visualización, e integración con la gestión de mantenimiento y producción. La inversión estimada para el primer año es de USD 97.400, con un rango aproximado entre USD 68.200 y USD 126.600. Desde el segundo año se considera un gasto recurrente cercano a USD 13.200 anuales. Entre las principales ventajas están una mejor visión del proceso, apoyo al mantenimiento, posibilidad de probar cambios con menor riesgo y mejor uso de la información de calidad y producción. Bajo el escenario utilizado como ejemplo, el beneficio neto anual desde el segundo año sería de USD 28.900 y la recuperación simple de la inversión se acercaría a 3,4 años. Estos resultados dependen completamente de los datos reales de la planta. La forma más adecuada de comenzar sería con un proyecto piloto pequeño, medir primero la situación actual, utilizar el gemelo como apoyo para las decisiones y ampliar la solución solamente si se demuestran mejoras concretas en disponibilidad, calidad, energía o tiempos de detención.

7. Declaraciones

Contribuciones

Ignacio Baltazar Riquelme Vergara: selección del tema, definición del propósito académico del informe y responsabilidad de revisar y validar la versión final.

ChatGPT - GPT-5.6 Sol: apoyo en investigación documental, organización del caso, metodología, cálculos simples, preparación de tablas, redacción del borrador, revisión y edición. La responsabilidad académica del contenido final permanece en el autor humano.

Autorizaciones finales

Publicación académica: AUTORIZO expresamente la publicación y difusión de esta versión identificada del informe, con mi nombre completo y correo institucional tal como aparecen en este documento, en repositorios y sitios web académicos. Se mantienen las condiciones de reutilización.

Reutilización: AUTORIZO su reutilización con fines académicos, con indicación del título y la fuente de publicación. Toda modificación de su contenido requiere mi revisión y aprobación previa.

Modificación por coautores: Las modificaciones posteriores por coautores requieren mi revisión y aprobación previa.

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. (s. f.-a). Guidance for Industrial Digital Twin on AWS. Recuperado el 2 de septiembre de 2026, de <https://docs.aws.amazon.com/solutions/industrial-digital-twin-on-aws/>
- Amazon Web Services. (s. f.-b). What is AWS IoT TwinMaker? Recuperado el 2 de septiembre de 2026, de <https://docs.aws.amazon.com/iot-twinmaker/latest/guide/what-is-twinmaker.html>
- Armstrong, M. M., Gallagher, N., & Goodwin, M. (2026, 7 de agosto; actualización). What is a digital twin? IBM. Publicación original: 4 de diciembre de 2020. <https://www.ibm.com/think/topics/digital-twin>
- International Organization for Standardization. (2021). ISO 23247-1:2021: Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. <https://www.iso.org/standard/75066.html>
- Microsoft. (2025, 28 de enero). What is Azure Digital Twins? Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/digital-twins/overview>
- Microsoft. (s. f.). Azure Digital Twins pricing. Recuperado el 2 de septiembre de 2026, de <https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/digital-twins/>
- National Institute of Standards and Technology. (2024, 15 de abril). Digital Twins for Advanced Manufacturing. Actualizado el 20 de julio de 2026. <https://www.nist.gov/programs-projects/digital-twins-advanced-manufacturing>
- National Institute of Standards and Technology. (s. f.). Digital twins. <https://www.nist.gov/digital-twins>