

v.2, n.3, 2025 - Março

# REVISTA O UNIVERSO OBSERVÁVEL

## GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIÓN EN INDUSTRIA 4.0

Miguel Angel Tolentino Barrientos<sup>1</sup>

**Revista O Universo Observável**

**DOI: 10.69720/29660599.2025.00061**

**[ISSN: 2966-0599](https://doi.org/10.69720/29660599.2025.00061)**

<sup>1</sup>Estudiante de 7° semestre de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico Nacional De Mexico Tlahuac III  
E-mail: [L221120064@tlahuac3.tecnm.mx](mailto:L221120064@tlahuac3.tecnm.mx)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8986-9131>



## GEMELOS DIGITAIS E SIMULAÇÃO EM INDÚSTRIA 4.0

Miguel Angel Tolentino Barrientos



Fonte: <https://www.esss.com/es/biblioteca-tecnica/webinar-gemelos-digitales-twin-builder-thingworx/>

**PERIÓDICO CIENTÍFICO INDEXADO INTERNACIONALMENTE**

**ISSN**  
International Standard Serial Number  
**2966-0599**

[www.ouniversoobservavel.com.br](http://www.ouniversoobservavel.com.br)

**Editora e Revista**  
**O Universo Observável**  
**CNPJ: 57.199.688/0001-06**  
**Naviraí – Mato Grosso do Sul**  
**Rua: Botocudos, 365 – Centro**  
**CEP: 79950-000**

## RESUMEN

La transformación digital se ha convertido en una de las principales fuerzas que redefine el panorama industrial global. A medida que las empresas buscan mantenerse competitivas en un entorno cada vez más dinámico y desafiante, la adopción de tecnologías avanzadas se vuelve esencial. Entre estas tecnologías, la simulación y los gemelos digitales se destacan como herramientas clave para mejorar los procesos de producción, aumentar la eficiencia operativa y reducir costos, aspectos fundamentales para lograr una ventaja competitiva sostenible. La Industria 4.0, que representa la cuarta revolución industrial, se basa en la integración de tecnologías como la automatización, la inteligencia artificial, el Internet de las Cosas y los sistemas ciber físicos, que permiten la creación de fábricas inteligentes. En estas fábricas, los sistemas están interconectados y operan de manera autónoma, facilitando la toma de decisiones en tiempo real. En este contexto, los gemelos digitales —réplicas virtuales de sistemas, procesos o productos físicos— juegan un papel crucial al permitir la simulación de escenarios, el monitoreo de condiciones operativas y la predicción de fallos antes de que ocurran, mejorando así la eficiencia y reduciendo riesgos.

**Palabras clave:** *Industria 4.0, Gemelos Digitales, Simulación, Tecnologías, Sostenible.*

## ABSTRACT

*Digital transformation has become one of the main forces redefining the global industrial landscape. As companies seek to remain competitive in an increasingly dynamic and challenging environment, the adoption of advanced technologies becomes essential. Among these technologies, simulation and digital twins stand out as key tools to improve production processes, increase operational efficiency and reduce costs, fundamental aspects to achieve a sustainable competitive advantage. Industry 4.0, which represents the fourth industrial revolution, is based on the integration of technologies such as automation, artificial intelligence, the Internet of Things and cyber-physical systems, which enable the creation of smart factories. In these factories, systems are interconnected and operate autonomously, facilitating real-time decision-making. In this context, digital twins – virtual replicas of physical systems, processes or products – play a crucial role by enabling the simulation of scenarios, the monitoring of operating conditions and the prediction of failures before they occur, thus improving efficiency and reducing risks.*

**Keywords:** *Industry 4.0, Digital Twins, Simulation, Technologies, Sustainable.*

## INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 hace referencia a la cuarta revolución industrial, un fenómeno que se distingue por la fusión de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), los sistemas ciber físicos (CPS), el Big Data y la inteligencia artificial (IA) en los procesos de manufactura. Según Juárez, E. (2024), los gemelos digitales representan réplicas virtuales de objetos, sistemas o procesos físicos. Estos modelos digitales se construyen a partir de datos en tiempo real y sofisticados modelos matemáticos. La información obtenida a través de sensores y dispositivos se utiliza para actualizar continuamente el gemelo digital, lo que permite realizar simulaciones precisas y análisis exhaustivos. Gracias a la simulación, es posible probar diversos escenarios y ajustar el proceso de producción sin necesidad de realizar pruebas físicas, lo que conlleva a una reducción en costos y tiempos para implementar mejoras.

IBM (2024) señala que la simulación y el modelado predictivo son herramientas clave para gestionar la incertidumbre en modelos del mundo real. Los modelos predictivos, como la regresión lineal, dependen de un conjunto de variables conocidas para anticipar resultados. De manera similar, AWS (2022) destaca que los gemelos digitales en sistemas de fabricación ofrecen un modelo virtual de un objeto físico que se actualiza en tiempo real a partir de datos de sensores. Esta tecnología no solo permite simular el comportamiento de los activos y monitorear su rendimiento a lo largo de su ciclo de vida, sino que también optimiza los procesos de producción y facilita el mantenimiento predictivo. Al replicar digitalmente los equipos y plantas de fabricación, los gemelos digitales son capaces de identificar fallos potenciales antes de que se materialicen, mejorar la eficiencia operativa, disminuir tiempos de inactividad y proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en el mantenimiento y gestión de activos.

Específicamente, se investigan los siguientes aspectos:

- Eficiencia operativa: ¿Cómo las tecnologías de simulación y gemelos digitales permiten mejorar la gestión de los procesos productivos, optimizando el uso de recursos y reduciendo el tiempo de inactividad?
- Reducción de costos: ¿En qué medida la integración de estas tecnologías contribuye a disminuir los costos operativos, tales como

los relacionados con el mantenimiento, el consumo energético o los desperdicios de materiales?

- Optimización de la producción: ¿Cómo los gemelos digitales permiten mejorar la producción a través de la simulación de escenarios, la predicción de demanda y la personalización de productos?

### Planteamiento del problema

El planteamiento del problema se centra en cómo las industrias están aprovechando las tecnologías de simulación y gemelos digitales dentro del marco de la Industria 4.0 para mejorar sus procesos productivos. A pesar de su potencial, las empresas enfrentan desafíos para integrar estas tecnologías debido a barreras tecnológicas, falta de infraestructura adecuada y la necesidad de formación especializada en sus empleados.

### Problema central:

La hipótesis planteada en esta investigación sostiene que la implementación de simulación y gemelos digitales en las industrias 4.0 mejora la eficiencia operativa, reduce costos y optimiza la producción. Sin embargo, se desconoce en qué medida estas tecnologías están siendo adoptadas en la industria y cuáles son sus efectos tangibles.(fig. 1 )

#### Objetivos:

1. *Objetivo general:* Analizar el impacto de la implementación de simulación y gemelos digitales en la mejora de la eficiencia operativa, reducción de costos y optimización de la producción en las industrias 4.0.
2. *Objetivos específicos:*
  - Identificar los tipos de simulación y gemelos digitales implementados en las industrias.
  - Evaluar los indicadores de mejora en eficiencia, costos y producción.
  - Examinar las barreras tecnológicas y económicas en la implementación de estas tecnologías.

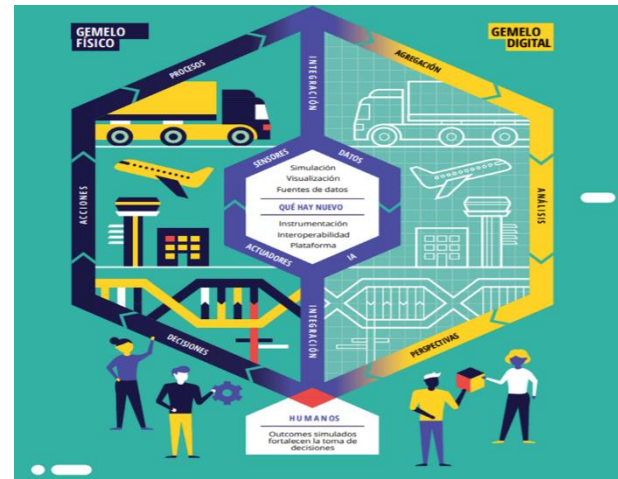


Fig. 1 Eficacia Operativa

### METODOLOGÍA

El enfoque de la investigación adoptado en este estudio es una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos, lo que significa que se utilizarán tanto datos numéricos (para hacer análisis estadísticos) como datos descriptivos y de contexto (para entender los aspectos más profundos de los procesos).

#### 1. Enfoque Cuantitativo:

Este tipo de enfoque busca medir y analizar variables numéricas a través de herramientas estadísticas. Se utilizarán encuestas para recolectar datos sobre la implementación de simulación y gemelos digitales en las industrias 4.0.

La estadística será una herramienta clave para analizar el impacto de la implementación de estas tecnologías en las variables de eficiencia operativa, reducción de costos, y optimización de la producción.

Algunas de las técnicas estadísticas que se pueden aplicar incluyen el cálculo de promedios, desviaciones estándar, y análisis de correlación, que ayudarán a determinar cómo las distintas variables se interrelacionan.

#### 2. Enfoque Cualitativo:

Este enfoque permite una exploración más profunda de los procesos y significados que no pueden ser fácilmente cuantificados.

Las entrevistas proporcionarán datos cualitativos, permitiendo obtener información detallada sobre las decisiones estratégicas y los

desafíos específicos asociados con la implementación de simulación y gemelos digitales.

Las entrevistas se realizarán con líderes de proyectos tecnológicos, quienes pueden ofrecer información contextual y experiencias que no se capturan en los cuestionarios.

#### Hipótesis de la Investigación

La hipótesis establece una relación propuesta entre la implementación de tecnologías específicas (simulación y gemelos digitales) y los beneficios operacionales esperados en las industrias 4.0. Específicamente, se plantea que la adopción de estas tecnologías tendrá un impacto positivo en tres áreas clave:

- Mejora de la eficiencia operativa.
- Reducción de costos.
- Optimización de la producción.

Esta hipótesis se probará a través de la recolección de datos y el análisis de las variables relacionadas.

#### Variables y Dimensiones

Para evaluar la hipótesis, se definen varias variables clave que se medirán, cada una de las cuales está relacionada con dimensiones específicas que se deben analizar. Estas variables se dividen de la siguiente manera:

#### 1. Nivel de Implementación Tecnológica:

##### Dimensiones:

- Tipo de simulación utilizada: ¿Qué tipos de simulación (por ejemplo, simulación de procesos, simulación de mantenimiento, etc.) están implementados en la industria?
- Grado de digitalización: ¿Qué tan avanzado está el nivel de digitalización de los sistemas de producción?
- Tipo de tecnología (software y hardware): ¿Qué tecnologías específicas (software y hardware) se han utilizado para implementar los gemelos digitales?
- Nivel de integración de los gemelos digitales: ¿Cuánto se han integrado los gemelos digitales en el proceso de producción en comparación con las prácticas tradicionales?

#### 2. Eficiencia Operativa:

##### Dimensiones:

- Optimización de procesos: ¿Cómo se han optimizado los procesos de producción (reducción de tiempo de ciclo, mejora de flujos de trabajo, etc.)?
  - Reducción de errores operativos: ¿Cuánto han disminuido los errores y fallos operativos después de la implementación de gemelos digitales?
- #### 3. Reducción de Costos:
- ##### Dimensiones:
- Comparación de costos: ¿Cómo se comparan los costos operativos (por ejemplo, costos de mantenimiento, costos de producción) antes y después de la implementación de gemelos digitales?
- #### 4. Optimización de la Producción:
- ##### Dimensiones:
- Mejor uso de la capacidad instalada: ¿Se ha logrado una mejor utilización de los recursos y equipos disponibles?
  - Optimización de tiempos de producción: ¿Se ha logrado una reducción de tiempos muertos o paradas en el proceso productivo?
- #### Instrumentos de Recolección de Datos.

Los instrumentos de recolección de datos se utilizan para obtener información directa de los actores involucrados en la implementación de estas tecnologías. Estos instrumentos son esenciales para la recopilación de datos tanto cuantitativos como cualitativos:

#### 1. Encuestas:

Se aplicarán encuestas estructuradas a los responsables de la implementación de gemelos digitales y simulación en las empresas industriales, así como a los operarios de planta que interactúan con estas tecnologías. Las encuestas incluirán preguntas cerradas (para obtener datos numéricos) y algunas preguntas abiertas (para recolectar información adicional).

#### 2. Entrevistas:

Las entrevistas semiestructuradas serán realizadas a líderes de proyectos tecnológicos dentro de las empresas. Estas entrevistas se centrarán en explorar en profundidad los factores clave en la adopción de tecnologías como los gemelos digitales,

así como en los retos, beneficios, y estrategias utilizadas en su implementación.

Procedimiento de Recolección, Procesamiento y Análisis de Datos

El procedimiento para el análisis de los datos seguirá varios pasos clave:

1. Recolección de Datos:

La información será recopilada mediante las encuestas y entrevistas a los actores clave involucrados en la implementación de gemelos digitales y simulación.

2. Procesamiento de Datos:

Una vez que se obtengan los datos, serán organizados en bases de datos y preparados para su análisis. En el caso de las encuestas, los datos numéricos se ingresarán en software estadístico, mientras que las respuestas cualitativas de las entrevistas se transcribirán y analizarán para identificar temas clave.

3. Análisis de Datos:

Se utilizarán herramientas estadísticas como el cálculo de promedios, desviaciones estándar, y análisis de correlación para analizar las relaciones entre las variables e indicadores (por ejemplo, entre el nivel de implementación tecnológica y la mejora en la eficiencia operativa).

El análisis de correlación será crucial para identificar si la implementación de simulación y gemelos digitales tiene una relación significativa con las mejoras observadas en los indicadores de costos, producción y eficiencia.

4. Evaluación de la Hipótesis:

Finalmente, los resultados del análisis de los datos permitirán evaluar si se confirma o refuta la hipótesis inicial, es decir, si efectivamente la implementación de simulación y gemelos digitales en las industrias 4.0 mejora la eficiencia operativa, reduce costos, y optimiza la producción.

**Instrumentos de medición:**

Descripción: Para evaluar el nivel de implementación tecnológica, se pueden usar encuestas estructuradas que se enfoquen en las siguientes dimensiones:

- Tipo de simulación utilizada: Preguntas sobre qué tipo de simulación se está utilizando en la empresa (por ejemplo, simulación de

procesos, simulación de mantenimiento, etc.). Las respuestas pueden ser de tipo múltiple, donde los encuestados seleccionan las opciones que mejor describan su situación.

- Grado de digitalización: Para medir qué tan avanzado está el nivel de digitalización, se pueden incluir preguntas sobre el uso de sistemas de software y hardware en los procesos productivos.
- Tipo de tecnología (software y hardware): Incluir preguntas que ayuden a identificar qué tecnologías se están utilizando, como software específico para gemelos digitales y hardware relacionado (sensores, sistemas de comunicación, etc.).
- Nivel de integración de los gemelos digitales: Aquí se puede medir cómo los gemelos digitales se integran en el proceso de producción comparado con las prácticas tradicionales. Se podría usar una escala de Likert que permita al encuestado indicar en qué medida considera que los gemelos digitales están integrados (por ejemplo, "Nada integrado", "Poco integrado", "Moderadamente integrado", "Totalmente integrado").

Ejemplo de pregunta de la encuesta:

- ¿Qué tipo de simulación se utiliza en su empresa?
  - a) Simulación de procesos
  - b) Simulación de mantenimiento
  - c) Otros (especificar)
- En una escala del 1 al 5, ¿cómo evaluaría el grado de digitalización de los sistemas de producción en su empresa?
  - 1 - Nada digitalizado, 5 - Totalmente digitalizado

Eficiencia Operativa:

Instrumento de medición: Encuesta con indicadores clave de rendimiento (KPI) y análisis de procesos.

Descripción:

Para medir la eficiencia operativa, se pueden usar varias métricas de rendimiento (KPI). Las preguntas

pueden centrarse en cómo se han optimizado los procesos y reducido los errores operativos tras la implementación de los gemelos digitales. Estas métricas pueden incluir:

- Optimización de procesos: Se evaluará la reducción en el tiempo de ciclo de producción y la mejora en los flujos de trabajo. Las preguntas pueden abordar si los procesos de producción han experimentado mejoras en la rapidez o calidad.
- Reducción de errores operativos: Evaluar la disminución de errores o fallos operativos después de la implementación de las tecnologías. Preguntas sobre la frecuencia de fallos antes y después del uso de gemelos digitales o simulaciones pueden ser útiles para este análisis.

Ejemplo de pregunta de la encuesta:

- Optimización de procesos: En su empresa, ¿ha mejorado el tiempo de ciclo de producción tras la implementación de gemelos digitales?
  - a) Sí, significativamente
  - b) Sí, algo
  - c) No ha cambiado
  - d) Ha empeorado
- Reducción de errores operativos: ¿Cuánto ha disminuido la cantidad de fallos operativos en su planta desde la implementación de los gemelos digitales?
  - a) Ha disminuido significativamente
  - b) Ha disminuido ligeramente
  - c) No ha cambiado
  - d) Ha aumentado

Reducción de Costos:

Instrumento de medición: Encuestas de comparación de costos y registros financieros.

Descripción:

Se pueden usar encuestas y análisis financiero para medir la reducción de costos en las empresas. Las encuestas se pueden centrar en los siguientes aspectos:

- Comparación de costos: Evaluar cómo los costos operativos han cambiado antes y

después de la implementación de tecnologías como los gemelos digitales. Las preguntas pueden abordar costos relacionados con mantenimiento, producción y otros gastos operativos.

También es útil contar con registros financieros de la empresa, que proporcionen datos cuantitativos precisos de los costos operativos previos y posteriores a la implementación de estas tecnologías.

Ejemplo de pregunta de la encuesta:

- Comparación de costos: ¿Ha experimentado su empresa una reducción en los costos operativos tras la implementación de gemelos digitales?
  - a) Sí, de manera significativa
  - b) Sí, algo
  - c) No ha habido cambios
  - d) Los costos han aumentado

Además, es recomendable acceder a registros de costos históricos, que permitan comparar directamente los valores de costos antes y después de la implementación.

Optimización de la Producción:

Instrumento de medición: Encuesta estructurada y entrevistas a operarios y responsables de planta.

Descripción:

Para medir la optimización de la producción, se pueden usar encuestas estructuradas y entrevistas semiestructuradas con operarios y responsables de planta. Las encuestas pueden abordar dos aspectos clave:

- Mejor uso de la capacidad instalada: Aquí se podría medir si los recursos y equipos disponibles están siendo utilizados de manera más eficiente después de la implementación de los gemelos digitales.
- Optimización de tiempos de producción: Evaluar si se ha reducido el tiempo muerto o las paradas no programadas en los procesos de producción, lo que indica una mejora en la eficiencia productiva.

Las entrevistas también son importantes para obtener detalles más cualitativos sobre cómo los operarios perciben los cambios en la producción.

Ejemplo de pregunta de la encuesta:

- Melhor uso de la capacidad instalada: Desde la implementación de los gemelos digitales, ¿ha mejorado la utilización de los recursos disponibles (equipos, maquinaria)?
  - a) Sí, significativamente
  - b) Sí, algo
  - c) No ha cambiado
  - d) Ha empeorado
- Optimización de tiempos de producción: ¿Ha disminuido el tiempo muerto en la producción después de la implementación de los gemelos digitales?
  - a) Sí, ha disminuido significativamente
  - b) Sí, ha disminuido ligeramente
  - c) No ha cambiado
  - d) Ha aumentado

Recolección de datos:

- Se distribuirán las encuestas entre los responsables de la implementación y operarios de planta.
  - Las entrevistas se coordinarán con líderes de proyectos tecnológicos para obtener información detallada.
- Procesamiento de datos:
- Los datos de las encuestas serán digitalizados y organizados en una base de datos.
  - Los datos cualitativos de las entrevistas se transcribirán y se clasificarán según los temas emergentes.
- Análisis de datos:
- Se utilizarán herramientas estadísticas para analizar los datos cuantitativos.
  - Para los datos cualitativos, se utilizará análisis temático para identificar patrones y tendencias comunes mostrados (fig. 1).
- Evaluación de la hipótesis:
- Se comprobará si los datos recolectados confirman la hipótesis de que la implementación de gemelos digitales y simulación mejora la eficiencia operativa, reduce costos y optimiza la producción se anexa (fig. 2) diagrama de dispersión.

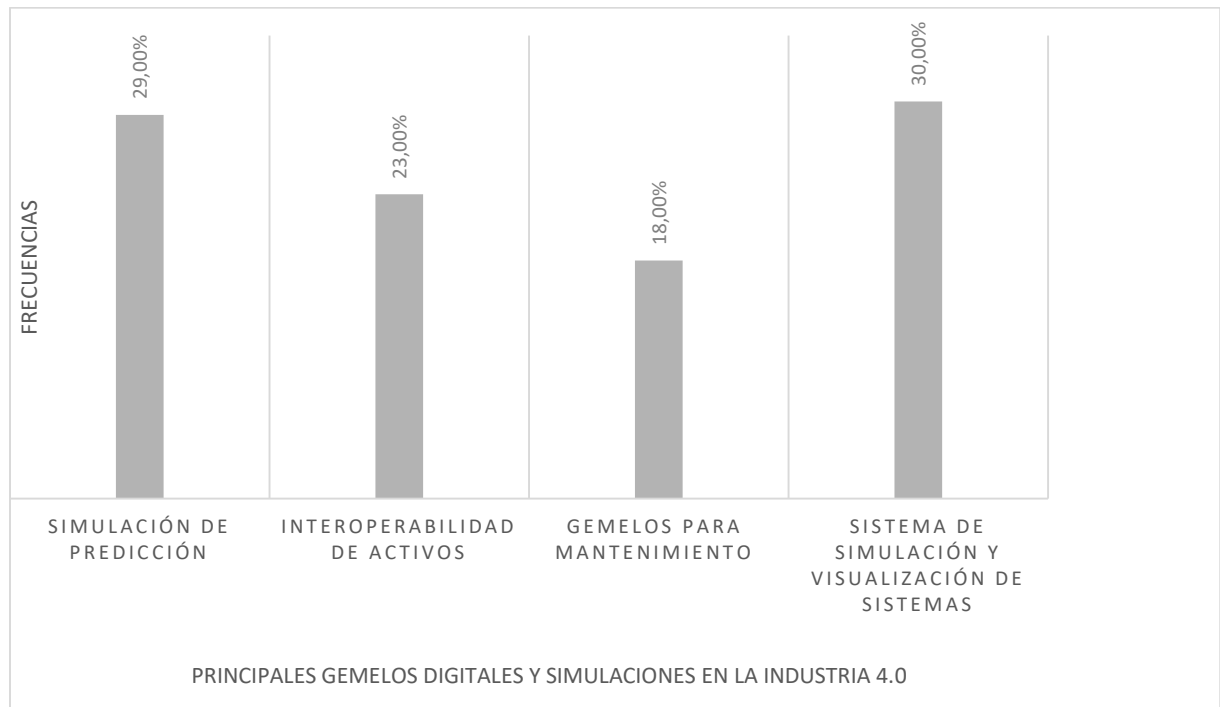


Fig. 1 porcentajes de utilización de gemelos digitales y sistemas de simulación



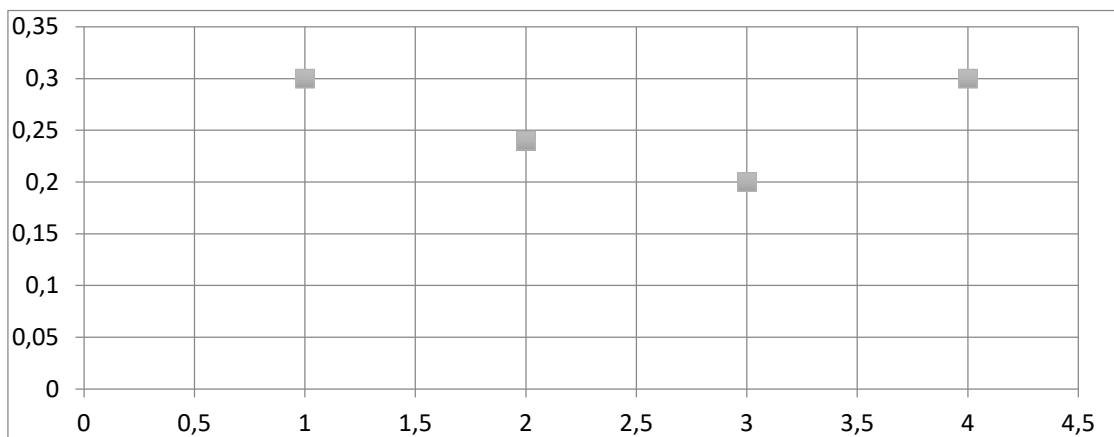


Fig.2 Diagrama de Dispersión con porcentajes reales de la investigación.

### Hipótesis

La implementación de simulación y gemelos digitales en las industrias 4.0 mejora la eficiencia operativa, reduce costos y optimiza la producción.

Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Preguntas
La implementación de simulación y gemelos digitales en las industrias 4.0 mejora la eficiencia operativa, reduce costos y optimiza la producción.	Nivel de Implementación Tecnológica (Simulación y Gemelos Digitales)	Tipo de simulación utilizada; grado de digitalización	Tipo de tecnología (software, hardware); nivel de integración del sistema de gemelos digitales en la planta	¿Qué tipo de simulación se utiliza en los procesos de la empresa? ¿En qué grado se han implementado los gemelos digitales?
Eficiencia Operativa	Uso de simulación y gemelos digitales para optimizar procesos	Procesos optimizados por simulación; reducción de errores operativos	Tiempo de ciclo reducido; disminución de paradas no planificadas	¿Cuánto se ha reducido el tiempo de ciclo en los procesos? ¿Cuántos errores operativos se han reducido con el uso de simulación?
Reducción de Costos	Impacto económico de los gemelos digitales	Reducción en el costo de producción	Comparación de costos antes y después de la implementación	¿Cuáles son los costos operativos antes y después de la implementación de los gemelos digitales? ¿Cómo han impactado los gemelos digitales en los costos?
Optimización de la Producción	Optimización del uso de recursos	Mejor uso de capacidad instalada, optimización de tiempos de producción	Utilización de la capacidad instalada; mejora en la eficiencia de recursos	¿En qué medida ha mejorado el uso de la capacidad instalada? ¿Cómo se optimizan los recursos y tiempos de producción con los gemelos digitales?
Factores Externos (Condiciones del Mercado y Competencia)	Competitividad e innovación en la industria	Comparación con competidores; aceptación de la innovación	Niveles de competitividad en el sector; adopción de nuevas tecnologías	¿Cómo se comparan los gemelos digitales con los sistemas tradicionales de la competencia? ¿Cómo afecta la innovación en gemelos digitales a la competitividad en el sector?

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El método propuesto para crear un gemelo digital se implementó con éxito, lo que dio como resultado un modelo digital preciso y funcional. El proceso comprendió una serie de pasos clave que contribuyeron a la creación del gemelo digital utilizando un software de simulación. El desarrollo de un modelo digital preciso basado en datos en tiempo real recopilados de las máquinas y los procesos de producción permitió una réplica fiel de la dinámica operativa real. La validación de datos mediante el software demostró una alta precisión, con una coincidencia cercana al 90 % entre el modelo digital y el rendimiento real del sistema. Esta precisión se confirmó aún más mediante el análisis de varios indicadores clave, incluida la eficacia general del equipo, que mostró una fuerte correlación entre los valores simulados y los reales.

## CONCLUSIONES

El objetivo principal es mejorar el rendimiento del sistema mediante la monitorización en tiempo real, el análisis predictivo y la simulación dinámica de procesos. Metodológicamente, el estudio emplea un enfoque híbrido que combina el modelado de gemelos digitales, las simulaciones multifásicas y el análisis basado en datos. A través de una serie de estudios de casos y validaciones experimentales, la investigación demuestra la eficacia de este marco integrado para reducir el tiempo de inactividad, mejorar la calidad del producto y permitir una respuesta ágil a las perturbaciones operativas. Los resultados indican que la metodología propuesta no solo mejora las prácticas de fabricación actuales, sino que también ofrece un potencial significativo de escalabilidad, reducción de costos y mayor eficiencia en sistemas industriales complejos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Herramienta para Realizar, U., Sociales, I., Hugo, O., & Rendón, P. (s.f.). La matriz de congruencia. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5900518.pdf>

Amazon Web Services, Inc. (2022). ¿Qué es la tecnología de gemelos digitales? - Explicación de la tecnología de gemelos digitales. <https://aws.amazon.com/es/what-is/digital-twin/>

IBM. (2024, septiembre 30). Simulación. En Simulación y modelado predictivo. <https://www.ibm.com/>

Juárez, E. (2024, October). La Revolución de los Gemelos Digitales en la Industria 4.0. Juarezthompson.mx; Juárez Thompson. <https://www.juarezthompson.mx/post/revolucion-de-los-gemelos-digitales-en-la-industria-4-0>

Salazar, R. (2023, marzo 4). Lo que necesitas saber sobre los gemelos digitales en la industria 4.0. LinkedIn. <https://es.linkedin.com/pulse/lo-que-necesitas-sabersobre-los-gemelos-digitales-en-rigo-salazar-hd>

Zribi, H., Ben Abid, T., Elloumi, A., Hani, Y., Graba, B. B., & Elmhamedi, A. (2025). Industry 4.0: Digital twins characteristics, applications, and challenges in built environments. Building Research & Information, 53(2), 1-18. <https://doi.org/10.1080/21693277.2025.2456277>

Quiroga-Parra, D. J., & Zambrano Vargas, S. M. (Año de publicación). Fabricación inteligente Tamayo y Tamayo, M. (2003). El proceso de la investigación científica: Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación (4.ª ed.). Limusa Noriega Editores.

Herramienta para Realizar, U., Sociales, I., Hugo, O., & Rendón, P. (s.f.). La matriz de congruencia. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5900518.pdf>

Lara Muñoz, Erica María Fundamentos de Investigación. Un enfoque por competencias. Primera Edición Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. México

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación (5.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores.

SAP. (n.d.). ¿Qué es la Industria 4.0? | Definición, tecnologías, beneficios. SAP Insights. <https://www.sap.com/latinamerica/products/scm/industry-4-0/what-isindustry-4-0.html>

Yzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Bocarando Chacón, J. G., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). El entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y perspectivas futuras. Conciencia Tecnológica, 54, 1-14. Instituto Tecnológico de Aguascalientes. <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/html/>

Corning. (2024). What is smart manufacturing? How fiber optic network technology solutions support the smart factory in Industry 4.0. Corning.com.

<https://www.corning.com/inbuildingnetworks/worldwide/en/home/verticals/manufacturing.html>

Agrawal, A.; Fischer, M.; Singh, V. Gemelo digital: del concepto a la práctica. *arXiv* **2022**, arXiv:2201.06912. [ [Google Académico](#) ]

Tao, F.; Zhang, M. Digital Twin Shop-Floor: Un nuevo paradigma de taller hacia la fabricación inteligente. *IEEE Access* **2017**, *5*, 20418–20427. [ [Google Scholar](#) ] [ [CrossRef](#) ]

Wang, K.; Wang, Y.; Li, Y.; Fan, X.; Xiao, S.; Hu, L. Una revisión de los estándares tecnológicos para habilitar gemelos digitales [versión 1; revisión por pares: 2 aprobados]. *Digit. Twin* **2022**, *2*, 4. [ [Google Scholar](#) ] [ [CrossRef](#) ]

Yao, J.-F.; Yang, Y.; Wang, X.-C.; Zhang, X.-P. Revisión sistemática de la tecnología y las aplicaciones de gemelos digitales. *Vis. Comput. Ind. Biomed. Art* **2023**, *6*, 10. Disponible en línea: <https://www.x-mol.com/paper/1663591427209936896> (consultado el 1 de enero de 2025). [ [CrossRef](#) ] [ [PubMed](#) ]

Cantini, A.; De Carlo, F.; Tucci, M. Aplicación del sistema de planificación lean layout en una planta de fabricación de bolsos de cuero y propuesta de un enfoque para involucrar al personal de la empresa en la investigación de la solución de layout. En Actas de la XXIV Escuela de Verano “Francesco Turco”—Ingeniería de Sistemas Industriales, Bérgamo, Italia, 9-11 de septiembre de 2020; Disponible en línea: [https://www.summerschool-aidi.it/images/papers/session\\_4\\_2020/ID-42.pdf](https://www.summerschool-aidi.it/images/papers/session_4_2020/ID-42.pdf) (consultado el 1 de enero de 2025).

Tao, F.; Zhang, H.; Liu, A.; Nee, AYC. Gemelo digital en la industria: estado del arte. *IEEE Trans. Ind. Inform.* **2019**, *15*, 2405–2415. [ [Google Scholar](#) ] [ [CrossRef](#) ]

Qi, Q.; Tao, F. Gemelo digital y big data hacia la fabricación inteligente y la industria 4.0:

comparación de 360 grados. *IEEE Access* **2018**, *6*, 3585–3593. [ [Google Scholar](#) ] [ [CrossRef](#) ]