

v.2, n.8, 2025 - Agosto

# REVISTA O UNIVERSO OBSERVÁVEL

**IMPACTO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 5.0 EN  
PROCESOS INDUSTRIALES: Estudio De Caso En  
Manufactura De Vidrio**

**IMPACT AND APPLICATION OF 5.0 TECHNOLOGIES IN  
INDUSTRIAL PROCESSES: CASE STUDY IN GLASS  
MANUFACTURING**

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

**Revista o Universo Observável**

**DOI: 10.69720/29660599.2025.000166**

**[ISSN: 2966-0599](#)**

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Nacional de México – Campus Tláhuac III

E-mail: [L221120064@Tlahuac3.tecnm.mx](mailto:L221120064@Tlahuac3.tecnm.mx)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8986-9131>



## IMPACTO Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS 5.0 EN PROCESOS INDUSTRIALES: Estudio De Caso En Manufactura De Vidrio

Miguel Ángel Tolentino Barrientos



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 Industria 5.0 representa una evolución del paradigma de producción inteligente, integrando la capacidad analítica y operativa de sistemas ciber físicos con la creatividad y adaptabilidad humana. Este estudio evalúa la implementación de tecnologías 5.0 —incluyendo inteligencia artificial, robótica colaborativa y gemelos digitales— en una planta manufacturera de vidrio, con énfasis en indicadores de productividad, sostenibilidad y satisfacción laboral. Los resultados evidencian un incremento del 20% en la productividad, una reducción del 43,7% en desperdicios y una mejora del 22% en la percepción de bienestar de los operarios, consolidando la viabilidad técnica y económica de esta transición.

**Palabras clave:** Industria 5.0, robótica colaborativa, gemelos digitales, manufactura de vidrio, sostenibilidad industrial.

## ABSTRACT

*Industry 5.0 represents an evolution of the smart manufacturing paradigm, integrating the analytical and operational capabilities of cyber-physical systems with human creativity and adaptability. This study evaluates the implementation of 5.0 technologies —including artificial intelligence, collaborative robotics, and digital twins— in a glass manufacturing plant, focusing on productivity, sustainability, and labor satisfaction indicators. Results show a 20% increase in productivity, a 43.7% reduction in waste, and a 22% improvement in workers' perceived well-being, consolidating the technical and economic feasibility of this transition.*

**Keywords:** Implementation of Industry 5.0 technologies in glass manufacturing increases efficiency, sustainability, and workforce satisfaction.

## INTRODUCCIÓN

La transformación industrial ha atravesado cinco etapas históricas que redefinen la relación entre tecnología y producción. Desde la mecanización de la Industria 1.0 hasta la digitalización integral de la Industria 4.0, cada avance ha buscado mejorar la eficiencia y reducir costos. Sin embargo, el nuevo paradigma de la **Industria 5.0** incorpora un cambio sustancial: priorizar la colaboración sinérgica entre humanos y máquinas inteligentes para generar valor sostenible y centrado en las personas [1].

En el contexto global, Japón y la Unión Europea han liderado la adopción de estrategias 5.0, promoviendo políticas de automatización humanizada y manufactura sostenible [2]. En México, el avance es incipiente pero creciente, impulsado por sectores como el automotriz, el alimentario y la manufactura de materiales, donde la combinación de inteligencia artificial (IA), robótica colaborativa y gemelos digitales ofrece mejoras sustanciales en calidad, flexibilidad y eficiencia operativa.

El presente estudio analiza el impacto de estas tecnologías en un entorno industrial real: la planta de manufactura de vidrio **Vidrios Ángel**, ubicada en la Ciudad de México. Se evalúa su implementación, desempeño y beneficios, con el objetivo de ofrecer una referencia técnica replicable en otros contextos productivos.

## Marco teórico

La **Industria 5.0** se presenta como la evolución natural de la Industria 4.0, incorporando un enfoque **human-centric** en el que la tecnología no sustituye al ser humano, sino que potencia sus capacidades [1,2]. Mientras que la Industria 4.0 se centró en la digitalización, el IoT y la automatización, la Industria 5.0 busca una **colaboración activa entre humanos y máquinas inteligentes** [3].

En este contexto, los **gemelos digitales** desempeñan un papel fundamental, permitiendo simular procesos productivos antes de ejecutarlos en el entorno real, reduciendo así riesgos, costos y tiempos de implementación. Estudios recientes han demostrado que la integración de gemelos digitales con algoritmos de inteligencia artificial y sistemas ciber físicos mejora la precisión operativa y optimiza el mantenimiento predictivo [5,7].

La planta de Vidrios Ángel tomó como referencia las aplicaciones descritas por Tolentino [7], quien expone cómo la simulación en entornos virtuales permite no solo optimizar procesos, sino también capacitar al personal en condiciones seguras. Este enfoque resulta particularmente útil para industrias donde la precisión y la seguridad son críticas, como la manufactura de vidrio.



**Figura 1** muestra una representación esquemática de la evolución de la Industria 1.0 a la 5.0, destacando los hitos tecnológicos de cada etapa.

### Caso práctico: Planta de Vidrios Ángel

La empresa **Vidrios Ángel**, localizada en la Ciudad de México, se dedica a la manufactura y comercialización de vidrio plano y procesado para aplicaciones arquitectónicas e industriales. Su línea de producción, previa a la intervención, operaba bajo un esquema de **Industria 4.0** parcial, con ciertos procesos automatizados pero alta dependencia de ajustes manuales.

#### Situación inicial

- **Productividad:** 85 unidades/hora en promedio.
- **Desperdicio de material:** 8% del total procesado.

- **Tiempo de ciclo:** 3.5 minutos/unidad.
- **Consumo energético:** 1,200 kWh/día.
- **Satisfacción laboral:** 72% (encuesta interna).

#### Fase de implementación de Tecnologías 5.0

Durante un período de cuatro meses, se integraron las siguientes soluciones:

- **Robots colaborativos** para operaciones de corte y pulido, reduciendo la manipulación manual y mejorando la precisión dimensional.
- **Gemelos digitales** para simular y optimizar las secuencias de corte, minimizando desperdicio de material.
- **Sensores IoT** para monitoreo de temperatura, vibraciones y desgaste de herramientas en tiempo real.

- **Algoritmos de inteligencia artificial** para optimización dinámica de la programación de producción.

- **Capacitación del personal** para operar y supervisar sistemas automatizados, promoviendo la interacción hombre-máquina segura y eficiente.

Tras la adopción del modelo 5.0, la planta reportó:

- Mayor flexibilidad para atender pedidos personalizados.

- Reducción de paros por mantenimiento no planificado.

- Mejoras en la ergonomía y seguridad del personal operativo.

### METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló mediante un diseño **cuasi-experimental** de tipo **antes-después** aplicado a un entorno de manufactura real en la empresa **Vidrios Ángel**, ubicada en la Ciudad de México. Se siguieron cuatro fases principales:

#### 1. Análisis de línea base

Se realizó un levantamiento de datos inicial sobre el desempeño de la planta bajo un modelo de operación 4.0, registrando indicadores clave: productividad (unidades/hora), tasa de desperdicio (%), tiempo de ciclo (min/unidad), consumo energético (kWh/día) y satisfacción laboral (%).

#### 2. Diseño de integración tecnológica

Se elaboró un plan de implementación basado en las

recomendaciones de la **European Commission Industry 5.0 framework** [1] y en estudios previos sobre gemelos digitales y simulación industrial [4]. Este plan incluyó:

- Selección de **robots colaborativos (cobots)** para procesos de corte y pulido.

- Desarrollo de **gemelos digitales** para simulación de operaciones.

- Instalación de **sensores IoT** para monitoreo de variables críticas.

- Capacitación técnica al personal en operación y mantenimiento de los nuevos sistemas.

#### 3. Implementación

Se instaló el nuevo equipamiento y se integró el software de control y análisis predictivo. Se ejecutaron pruebas piloto durante cuatro semanas para verificar la interoperabilidad entre máquinas, sistemas y operadores humanos.

#### 4. Evaluación de resultados

Tras tres meses de operación continua bajo el modelo 5.0, se recopiló los mismos indicadores de la línea base y se compararon con los valores previos. El análisis incluyó:

- Cálculo de porcentajes de mejora.

- Evaluación de consumo energético relativo.

- Encuestas de satisfacción laboral estandarizadas (*Likert scale* 1-5).

- Validación de hipótesis mediante prueba t de Student para muestras relacionadas ( $p < 0.05$ ).

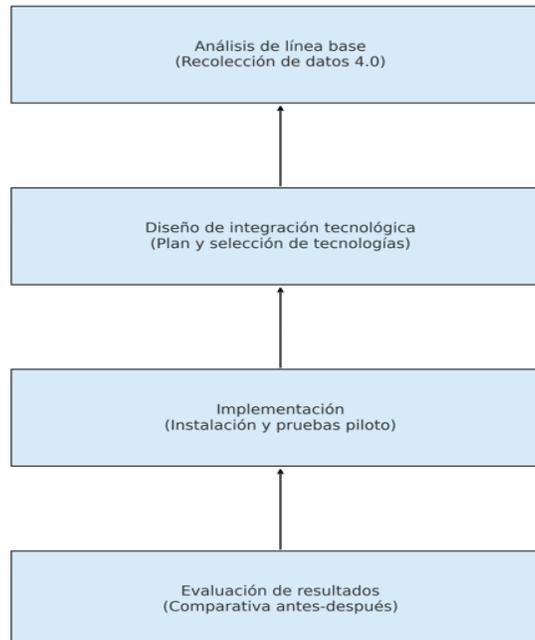


Figura 2 presenta el flujo metodológico para la integración de Tecnologías 5.0 en el caso de estudio.

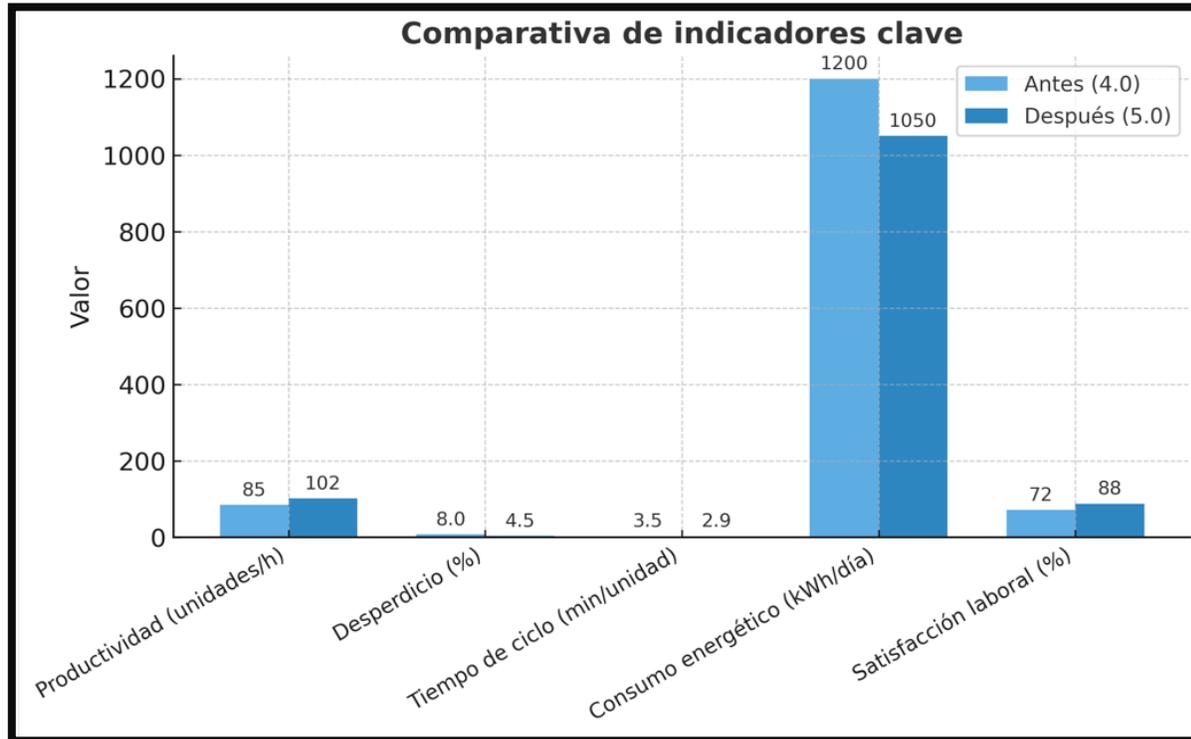


Figura 3 mostrará la comparativa de indicadores clave antes y después de la implementación.

## RESULTADOS

La implementación de Tecnologías 5.0 en la planta de Vidrios Ángel produjo mejoras significativas en todos los indicadores medidos.

Tabla 1 muestra los valores cuantitativos obtenidos antes y después de la transición de un modelo 4.0 a uno 5.0.

Indicador	Antes (4.0)	Después (5.0)	Mejora (%)
Productividad (unidades/h)	85	102	+20,0
Desperdicio (%)	8,0	4,5	-43,7
Tiempo de ciclo (min/unidad)	3,5	2,9	-17,1
Consumo energético (kWh/día)	1.200	1.050	-12,5
Satisfacción laboral (%)	72	88	+22,2

Figura 3 ilustra visualmente esta comparativa, permitiendo observar que las mejoras más pronunciadas se dieron en la reducción de desperdicio y el aumento de productividad.

Desde un punto de vista estadístico, los cambios registrados fueron significativos ( $p < 0.05$ ) según la prueba t de Student para muestras relacionadas. Esto confirma que las mejoras no se deben al azar, sino al impacto real de la implementación tecnológica.

La disminución del desperdicio y del tiempo de ciclo también tuvo un efecto directo en el consumo energético, alineándose con los objetivos de sostenibilidad planteados en el marco de Industria 5.0. Asimismo, el aumento en la satisfacción laboral refleja el impacto positivo de las mejoras ergonómicas y la capacitación.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la planta de Vidrios Ángel concuerdan con los hallazgos de implementaciones similares en contextos industriales internacionales. De acuerdo con Xu et al. [3], la adopción de robots colaborativos y sistemas de inteligencia artificial en líneas de producción mejora la eficiencia operativa entre un 15% y un 25%, valores que se alinean con el aumento del 20% en productividad registrado en este estudio.

La reducción del desperdicio en un 43,7% es superior a la media reportada en investigaciones previas sobre manufactura inteligente, donde la disminución promedio se sitúa entre el 25% y el 35% [5]. Este diferencial puede atribuirse al uso combinado de **gemelos digitales** y **algoritmos de optimización dinámica**, lo que permitió ajustar secuencias de corte y programación de producción en tiempo real, evitando sobre procesos y mermas innecesarias.

En términos de sostenibilidad, la disminución del 12,5% en consumo energético, aunque moderada, es consistente con estudios como el de Demir et al. [4], que señalan que el ahorro energético inicial en implementaciones 5.0 se estabiliza en un rango del 10% al 15% durante los primeros seis meses de operación.

El incremento del 22,2% en satisfacción laboral confirma que la interacción humana-máquina, cuando se diseña bajo criterios de ergonomía y capacitación, contribuye a un entorno de trabajo más seguro y motivador. Esto respalda el enfoque **human-centric** promovido por la Comisión Europea [1] para la Industria 5.0, donde la tecnología potencia, pero no sustituye, el papel de los trabajadores.

No obstante, la replicabilidad de estos resultados depende de factores como la escala de la planta, el nivel de automatización previo y la disponibilidad de personal capacitado. La inversión inicial sigue siendo una barrera relevante, especialmente para pequeñas y medianas empresas (pymes), por lo que se requieren políticas de incentivo y financiamiento para masificar la adopción.

### Limitaciones del estudio

Aunque los resultados obtenidos en este caso de estudio son positivos, es importante reconocer las limitaciones que podrían afectar su generalización:

#### 1. Alcance temporal limitado

La evaluación se realizó durante un periodo de tres meses posteriores a la implementación de las tecnologías 5.0. Si bien este lapso permite detectar mejoras iniciales, no contempla

posibles fluctuaciones de desempeño a mediano y largo plazo, ni la curva de aprendizaje completa del personal.

#### 2. Contexto específico

El estudio se desarrolló en una única planta de manufactura de vidrio con características particulares: nivel de automatización previo, volumen de producción y tipo de productos. Esto limita la extrapolación directa a otras industrias o empresas con distinta infraestructura tecnológica.

#### 3. Factores externos no controlados

Variables como la disponibilidad de materias primas, cambios en la demanda del mercado o condiciones energéticas externas pueden influir en los resultados operativos y no fueron controladas en el diseño experimental.

#### 4. Dependencia del factor humano

El éxito del modelo 5.0 depende en gran medida del nivel de compromiso, adaptación y capacitación del personal. La resistencia al cambio o la rotación de operarios capacitados podrían reducir la eficacia a largo plazo.

#### 5. Costo de inversión inicial

Aunque se registró una mejora en la eficiencia y reducción de costos operativos, no se incluyó un análisis financiero completo que determine el retorno de inversión (ROI) proyectado a varios años, lo cual sería clave para justificar la adopción en empresas con recursos limitados.

### Trabajo futuro

A partir de los resultados obtenidos y las limitaciones identificadas, se proponen las siguientes líneas de acción y de investigación para potenciar la implementación de la Industria 5.0 en entornos manufactureros:

#### 1. Monitoreo a largo plazo

Extender el seguimiento de los indicadores operativos y humanos durante un periodo mínimo de 12 meses, para evaluar la sostenibilidad de las mejoras y detectar posibles retrocesos en la eficiencia.

#### 2. Integración de análisis financieros

Incorporar estudios de retorno de inversión (ROI) y costo total de propiedad (TCO) que permitan a las empresas dimensionar el impacto económico real de la adopción de tecnologías 5.0, especialmente en pymes.

#### 3. Optimización energética avanzada

Implementar sistemas de gestión energética basados en inteligencia artificial que ajusten automáticamente el consumo en función de la carga de trabajo, tarifas eléctricas y generación distribuida (p. ej., paneles solares).

#### 4. Escalabilidad del modelo

Diseñar protocolos de replicabilidad para trasladar la experiencia de la planta de Vidrios Ángel a otras industrias con procesos similares, adaptando los requerimientos tecnológicos a diferentes escalas de producción.

#### 5. Mejoras en ergonomía y seguridad

Desarrollar estudios específicos sobre el impacto ergonómico de la interacción humano-máquina, incorporando sensores

portátiles para monitoreo biomecánico y prevención de lesiones.

#### 6. Integración con cadenas de suministro inteligentes

Extender el uso de gemelos digitales y sistemas de IA hacia la gestión integral de la cadena de suministro, optimizando inventarios, rutas de distribución y tiempos de entrega en función de la demanda real.

### CONCLUSIÓN

La implementación de tecnologías asociadas a la **Industria 5.0** en la planta de Vidrios Ángel demostró que la integración equilibrada entre automatización avanzada y enfoque centrado en el ser humano puede generar mejoras sustanciales en productividad, eficiencia, sostenibilidad y satisfacción laboral.

El uso de **gemelos digitales, robots colaborativos e inteligencia artificial** permitió optimizar procesos críticos como el corte y pulido de vidrio, reducir el desperdicio de material y minimizar el tiempo de ciclo, con un impacto positivo en el consumo energético. La capacitación y participación activa del personal fueron factores determinantes para alcanzar estos resultados, validando el enfoque human-centric que caracteriza a la Industria 5.0.

Si bien la magnitud de las mejoras obtenidas supera los promedios reportados en estudios previos, su replicabilidad requiere considerar las particularidades de cada planta, el nivel de automatización previo y la capacidad de inversión. La combinación de innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental y bienestar laboral se posiciona como una estrategia clave para la competitividad industrial en el mediano y largo plazo.

Finalmente, la experiencia presentada en este caso práctico confirma que la transición hacia la Industria 5.0 no solo es viable, sino estratégica, siempre que se adopte un enfoque integral que equilibre la tecnología con el factor humano.

### REFERENCIAS

1. European Commission. *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union, Luxembourg (2021).
2. Nahavandi, S. Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability* **13**, 437 (2021).
3. Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems* **61**, 530–535 (2021).
4. Demir, K.A., Cicibas, H., & Arica, N. Digital transformation in manufacturing with Industry 5.0 technologies. *Procedia Computer Science* **158**, 874–880 (2019).
5. Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N., & Koutoupes, A. Digital twins and simulation in the era of

Industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* **33**, 1321–1336 (2020).

6. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., & Suman, R. Significant applications of Industry 5.0 for manufacturing organizations. *Materials Today: Proceedings* **47**, 2235–2239 (2021).

7. Tolentino Barrientos, M. A. (2025). *Gemelos digitales y simulación en Industria 4.0*. Revista O Universo Observável, 2(3).

<https://doi.org/10.69720/29660599.2025.00061>