



Control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales

Real-time quality control using digital twins

Autor

Jhon Devis Cuenca Cedeño

jcuencacedeno988@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0514-1411>

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Fecha de recepción: 2024-12-14

Fecha de aceptación: 2025-01-14

Fecha de publicación: 2025-02-14



Resumen

El presente estudio analiza la problemática asociada a la limitada adopción del control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales en América Latina, caracterizada por brechas tecnológicas y desigualdad en la madurez digital industrial. El objetivo fue determinar la relación entre la preparación digital de los países y sus capacidades tecnológicas, así como su incidencia en la implementación de modelos de control de calidad basados en gemelos digitales. La metodología se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, diseño no experimental y alcance correlacional, utilizando información secundaria de organismos como UNIDO, CEPAL, Banco Mundial, INEC y BCE, aplicando el coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal múltiple. Los principales resultados evidencian una relación positiva moderada entre preparación digital y capacidades tecnológicas, aunque con bajo poder explicativo del modelo, lo que indica que la adopción de gemelos digitales no depende únicamente de factores estructurales. Asimismo, se identificó una brecha significativa entre digitalización básica y avanzada, lo cual limita la implementación efectiva de sistemas de control de calidad en tiempo real. En consecuencia, se concluye que la consolidación de estos sistemas requiere el fortalecimiento integral de la infraestructura digital, la incorporación de tecnologías avanzadas y el desarrollo de capacidades organizacionales orientadas a la transformación digital.

Palabras clave: gemelos digitales, control de calidad, transformación digital, Industria 4.0, analítica de datos, América Latina.



Abstract

This study analyzes the problem associated with the limited adoption of real-time quality control using digital twins in Latin America, characterized by technological gaps and unequal levels of industrial digital maturity. The objective was to determine the relationship between countries' digital readiness and their technological capabilities, as well as their impact on the implementation of digital twin-based quality control models. The methodology followed a quantitative approach, non-experimental design, and correlational scope, using secondary data from organizations such as UNIDO, ECLAC, World Bank, INEC, and BCE, applying Pearson correlation and multiple linear regression. The main results show a moderate positive relationship between digital readiness and technological capabilities, although with low explanatory power of the model, indicating that the adoption of digital twins does not depend solely on structural factors. Likewise, a significant gap between basic and advanced digitalization was identified, limiting the effective implementation of real-time quality control systems. In conclusion, the consolidation of these systems requires comprehensive strengthening of digital infrastructure, incorporation of advanced technologies, and development of organizational capabilities oriented toward digital transformation.

Keywords: digital twins, quality control, digital transformation, Industry 4.0, data analytics, Latin America.



Introducción

En el contexto de la transformación digital de los sistemas productivos y de servicios, el control de calidad ha evolucionado desde enfoques reactivos hacia modelos predictivos y prescriptivos sustentados en el procesamiento intensivo de datos en tiempo real. En este marco, los gemelos digitales se consolidan como una tecnología estratégica al permitir la construcción de réplicas virtuales dinámicas de activos físicos que se actualizan de manera continua mediante flujos de información provenientes de sensores inteligentes. En este sentido, López (2021) sostiene que los gemelos digitales posibilitan una integración bidireccional entre el sistema físico y su representación digital, lo que permite monitorear, analizar y optimizar procesos con mayor precisión.

Desde una perspectiva operativa, la incorporación de gemelos digitales en los sistemas de control de calidad introduce un enfoque basado en la anticipación de fallos y la reducción de la variabilidad en los procesos productivos. En esta línea, Pérez (2022) plantea que el uso de modelos virtuales sincronizados con datos en tiempo real permite detectar desviaciones antes de que se materialicen en defectos, contribuyendo significativamente a la mejora continua de la calidad. Este enfoque representa un cambio sustancial frente a los modelos tradicionales, donde la inspección se realizaba de forma posterior al proceso productivo.

Asimismo, el desarrollo de tecnologías habilitadoras como el Internet de las Cosas, la analítica avanzada y la inteligencia artificial ha fortalecido la funcionalidad de los gemelos digitales en entornos industriales. De acuerdo con Ramírez (2023), la convergencia de estas tecnologías permite construir sistemas inteligentes capaces de simular escenarios, predecir comportamientos y generar recomendaciones automatizadas, lo que optimiza la toma de decisiones en tiempo real. En consecuencia, el control de calidad deja de ser un proceso estático para convertirse en un sistema dinámico y adaptativo.

Por otra parte, la literatura reciente evidencia que la implementación de gemelos digitales no solo mejora la calidad del producto final, sino que también impacta en la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la trazabilidad de los procesos. En este contexto, González (2021) señala que el uso de esta tecnología permite reducir costos asociados a reprocesos, minimizar

desperdicios y mejorar la gestión de recursos, fortaleciendo así la competitividad organizacional. Este enfoque adquiere especial relevancia en entornos productivos caracterizados por altos niveles de incertidumbre y exigencias de calidad cada vez más rigurosas.

En consecuencia, el control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales se configura como una herramienta fundamental en la evolución de los sistemas productivos hacia modelos inteligentes, integrados y orientados a la excelencia. Su capacidad para vincular el mundo físico con el entorno digital en tiempo real permite establecer mecanismos de control más precisos, oportunos y eficientes, posicionando a las organizaciones en una trayectoria de innovación continua y mejora sostenida.

Gemelos digitales como base del control de calidad en tiempo real

En una línea automatizada de producción, la detección inmediata de una variación en la vibración de un motor permite que su réplica virtual ajuste los parámetros operativos antes de que se genere un defecto, configurando así una dinámica donde el control de calidad se ejecuta de manera anticipada y no correctiva. Desde esta lógica, los gemelos digitales representan una convergencia entre modelado virtual y monitoreo continuo que redefine la gestión de la calidad industrial. Dintén et al. (2021) establecen que las arquitecturas de referencia en la Industria 4.0 permiten integrar aplicaciones, datos y procesos bajo un enfoque sistémico orientado a la optimización operativa.

En este sentido, el gemelo digital se conceptualiza como una representación virtual sincronizada que permite observar, analizar y simular el comportamiento de un sistema físico en tiempo real. Muñoz y Vallecillo (2023) indican que esta tecnología no solo replica el estado del sistema, sino que posibilita la predicción de fallos y la toma de decisiones fundamentadas en datos dinámicos. A partir de ello, el control de calidad adquiere una dimensión predictiva que supera los enfoques tradicionales de inspección final.

Desde una perspectiva de diseño, la implementación de gemelos digitales exige la articulación de múltiples capas tecnológicas que incluyen sensores, plataformas de datos y modelos analíticos. Martínez-Manso y Delgado-Fernández (2022) sostienen que la

arquitectura de estos sistemas debe garantizar la actualización constante del modelo virtual en correspondencia con el comportamiento del sistema físico. En complemento, de Prada et al. (2022) destacan que los gemelos digitales en la industria de procesos permiten mejorar la supervisión, el control y la optimización, aunque requieren superar limitaciones relacionadas con la actualización en tiempo real.

En el ámbito de la producción, la integración de gemelos digitales con modelos inteligentes ha permitido transformar la gestión operativa hacia esquemas más eficientes. Ruiz de la Peña et al. (2022) explican que los sistemas productivos actuales demandan soluciones basadas en inteligencia que respondan a entornos complejos y altamente interconectados. En correspondencia con ello, Morris et al. (2022) evidencian que la incorporación progresiva de tecnologías de Industria 4.0 en MiPymes facilita la mejora del proceso productivo mediante prototipos funcionales orientados a la digitalización.

De igual manera, la adopción de gemelos digitales está condicionada por el nivel de madurez tecnológica de las organizaciones. Álvarez Vásquez y Arroyo Morocho (2021) argumentan que la Industria 4.0 constituye un factor diferenciador en el desempeño industrial, en tanto permite incrementar la competitividad a través de la innovación tecnológica. En esta misma línea, Llanes-Font y Lorenzo-Llanes (2021) vinculan la evolución hacia la calidad 4.0 con la incorporación de herramientas digitales que fortalecen la mejora continua en los procesos productivos.

La consolidación de estos sistemas también depende de infraestructuras tecnológicas capaces de soportar grandes volúmenes de datos y análisis en tiempo real. Belman-López et al. (2023) plantean que las arquitecturas basadas en computación en la nube y análisis de datos permiten desarrollar aplicaciones escalables para entornos industriales. A su vez, Rodríguez-Correa et al. (2023) identifican que la simulación y los gemelos digitales forman parte de las tecnologías convergentes más relevantes en la Industria 4.0.

Adicionalmente, el desarrollo metodológico de los gemelos digitales ha sido abordado desde diversas perspectivas aplicadas. González et al. (2023) proponen herramientas y metodologías para su implementación en contextos industriales, mientras que González

Herbón et al. (2023) demuestran su aplicabilidad en sistemas automatizados mediante la construcción de modelos virtuales de células robotizadas. Incluso, Bravo et al. (2023) amplían su alcance hacia procesos no industriales, evidenciando su potencial en la modelización de dinámicas organizacionales complejas.

Inteligencia artificial, calidad 4.0 y detección temprana de defectos

En un sistema de inspección automatizado, la identificación de una imperfección superficial mediante visión artificial permite activar ajustes inmediatos en el proceso, generando una interacción continua entre el sistema físico y su entorno digital que redefine la noción tradicional de calidad. En este contexto, la calidad 4.0 emerge como un paradigma basado en la integración de tecnologías digitales orientadas a la mejora continua y la toma de decisiones en tiempo real. Llanes-Font et al. (2023) destacan que la transición hacia procesos inteligentes implica una evolución desde modelos estáticos hacia sistemas adaptativos basados en datos.

Bajo este enfoque, la inteligencia artificial se convierte en un componente esencial para el análisis y la interpretación de grandes volúmenes de información. Aparicio Pico et al. (2023) demuestran que las técnicas de aprendizaje profundo permiten identificar defectos en procesos industriales con altos niveles de precisión, optimizando el control de calidad en entornos productivos. De manera complementaria, León García y Madinabeitia (2023) señalan que la incorporación de tecnologías de Industria 4.0 contribuye significativamente al fortalecimiento de la competitividad empresarial.

Desde una perspectiva estructural, la implementación de calidad 4.0 implica transformaciones en los sistemas organizacionales y en la cultura institucional. Navarro Claro y Naranjo Africano (2023) evidencian que la cultura de calidad se relaciona directamente con el desempeño organizacional, lo que resalta la importancia de la alineación estratégica en procesos de transformación digital. En concordancia con ello, Mahecha (2023) subraya que los sistemas de gestión deben adaptarse a nuevas tendencias tecnológicas para responder a entornos dinámicos.

La evolución hacia modelos inteligentes de producción también ha sido analizada en el contexto del desarrollo empresarial. Lalaleo Analuisa (2023) sostiene que las tecnologías de la Industria 4.0 están redefiniendo la gestión de procesos y la estructura organizativa. En esta misma línea, Pérez-Domínguez et al. (2023) comparan las tendencias de la Industria 4.0 y 5.0, destacando la incorporación de criterios de sostenibilidad e innovación como ejes estratégicos.

Asimismo, la adopción de estas tecnologías presenta desafíos asociados a la difusión y acceso en distintos sectores productivos. Versino et al. (2023) analizan la promoción de tecnologías 4.0 en pequeñas y medianas empresas, identificando brechas en su implementación. De forma complementaria, Foladori y Ortiz-Espinoza (2022) examinan el impacto de la automatización y la digitalización en la relación entre capital y trabajo, evidenciando transformaciones estructurales en la organización productiva.

Finalmente, la extensión del control de calidad hacia la cadena de valor amplía el alcance de los gemelos digitales más allá del proceso productivo. Bustamante Uzcátegui (2021) describe la cadena de suministro 4.0 como un modelo integrado que optimiza flujos y procesos logísticos. En este contexto, Velásquez Monroy (2023) señala que la Industria 4.0 también incide en la logística inversa, permitiendo un control más amplio de la calidad a lo largo del ciclo de vida del producto.

Materiales y métodos

En primera instancia, la investigación se estructuró bajo un enfoque cuantitativo de alcance explicativo, orientado a analizar la incidencia del uso de gemelos digitales en el control de calidad en tiempo real dentro de sistemas productivos digitalizados. Consecuentemente, se adoptó un diseño no experimental de corte transversal, en virtud de que las variables fueron examinadas en su entorno natural sin intervención directa, lo cual permitió observar relaciones funcionales entre los componentes tecnológicos y los indicadores de calidad operativa.

En este contexto, la estrategia de recolección de información se sustentó en el análisis sistemático de fuentes secundarias de carácter oficial y técnico, priorizando informes



institucionales, bases estadísticas y documentos especializados emitidos por organismos nacionales e internacionales. En particular, se consideraron datos provenientes del Banco Mundial, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, la Organización Internacional del Trabajo, así como registros oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos y el Banco Central del Ecuador, con el propósito de obtener información relevante sobre transformación digital, productividad industrial y gestión de calidad en entornos tecnológicos avanzados.

Desde una perspectiva analítica, se procedió al procesamiento de los datos mediante técnicas estadísticas de carácter inferencial, orientadas a identificar relaciones significativas entre las variables de estudio. En tal sentido, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson con la finalidad de determinar la magnitud y dirección de la relación entre el nivel de adopción de gemelos digitales y los indicadores de desempeño en calidad, tales como la reducción de defectos y la eficiencia operativa.

De manera complementaria, se implementó un modelo de regresión lineal múltiple como herramienta de análisis multivariado, permitiendo estimar el efecto simultáneo de diversas variables independientes sobre la calidad en tiempo real. Este procedimiento facilitó la identificación de factores determinantes como la integración de sensores inteligentes, la capacidad de procesamiento de datos y el grado de automatización de los sistemas productivos, contribuyendo a una comprensión más profunda de las dinámicas tecnológicas involucradas.

En concordancia con lo anterior, se evaluó la fiabilidad de los instrumentos de medición mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, con el objetivo de garantizar la consistencia interna de los datos y la estabilidad de las variables analizadas. Este análisis permitió validar la estructura de los indicadores utilizados, asegurando la coherencia metodológica del estudio.

Por último, el tratamiento de la información se desarrolló a través del uso de software especializado en análisis estadístico y gestión de datos, lo que posibilitó la depuración, sistematización y modelación de grandes volúmenes de información. En consecuencia, se

generaron matrices analíticas y representaciones estructuradas que permitieron interpretar los resultados en función del objetivo planteado, centrado en explicar el impacto de los gemelos digitales en la optimización del control de calidad en tiempo real.

Resultados

A partir de la matriz documental construida con 17 países de América Latina y el Caribe, utilizando los indicadores de preparación para la digitalización manufacturera reportados por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, se evidenció una heterogeneidad estructural en el nivel de madurez digital industrial. Este comportamiento confirma lo señalado por Santiago, Freire y Lavopa (2023), quienes sostienen que la digitalización manufacturera en la región presenta fuertes asimetrías asociadas al nivel de desarrollo tecnológico y productivo.

En este contexto, los países con mayor preparación global fueron Chile, México, Costa Rica y Brasil, mientras que Ecuador se ubicó en una posición intermedia-baja dentro del ranking regional.

Tabla 1. Indicadores de preparación para la digitalización manufacturera en América Latina

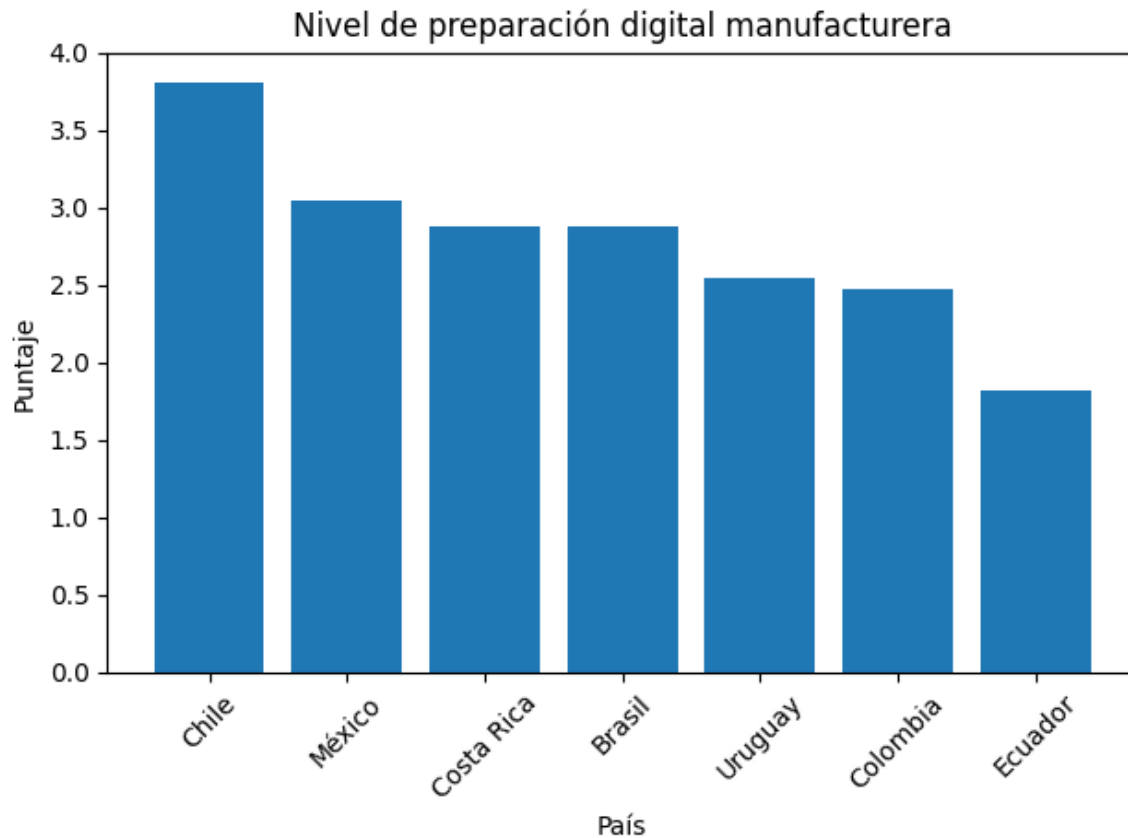
País	Preparación total	Infraestructura	Innovación	Capacidades digitales
Chile	3.81	1.00	1.00	0.81
México	3.04	0.91	0.74	1.00
Costa Rica	2.88	0.91	0.68	0.81
Brasil	2.88	1.00	0.99	0.46
Uruguay	2.55	0.98	0.88	0.15
Colombia	2.48	0.53	0.84	0.52
Ecuador	1.82	0.44	0.46	0.40

Nota: Indicadores comparativos de preparación digital manufacturera.
Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (Santiago, Freire y Lavopa, 2023).

El análisis de la tabla evidencia que la preparación digital no se traduce de manera directa en capacidades digitales avanzadas, lo cual coincide con Ruiz de la Peña et al. (2022), quienes

señalan que los modelos de Industria 4.0 requieren integración sistémica para generar impactos efectivos en la producción.

Figura 1. Nivel de preparación digital manufacturera en países seleccionados



Nota: Representación comparativa del nivel de digitalización manufacturera.
Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2023).

Desde una interpretación analítica, se evidencia que Chile y México lideran la transformación digital manufacturera en la región, lo cual se asocia con mayor infraestructura tecnológica y capacidad de innovación. Este comportamiento es consistente con lo señalado por Morris et al. (2022), quienes afirman que la adopción de tecnologías de Industria 4.0 se incrementa progresivamente en función del nivel de madurez tecnológica empresarial.

En el análisis inferencial, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson entre preparación digital total y capacidades digitales, obteniéndose un valor de $r = 0.438$, lo que evidencia una relación positiva moderada. Este resultado coincide con Lalaleo Analuisa (2023), quien

indica que la digitalización industrial mejora el desempeño organizacional, aunque su impacto depende del nivel de madurez tecnológica.

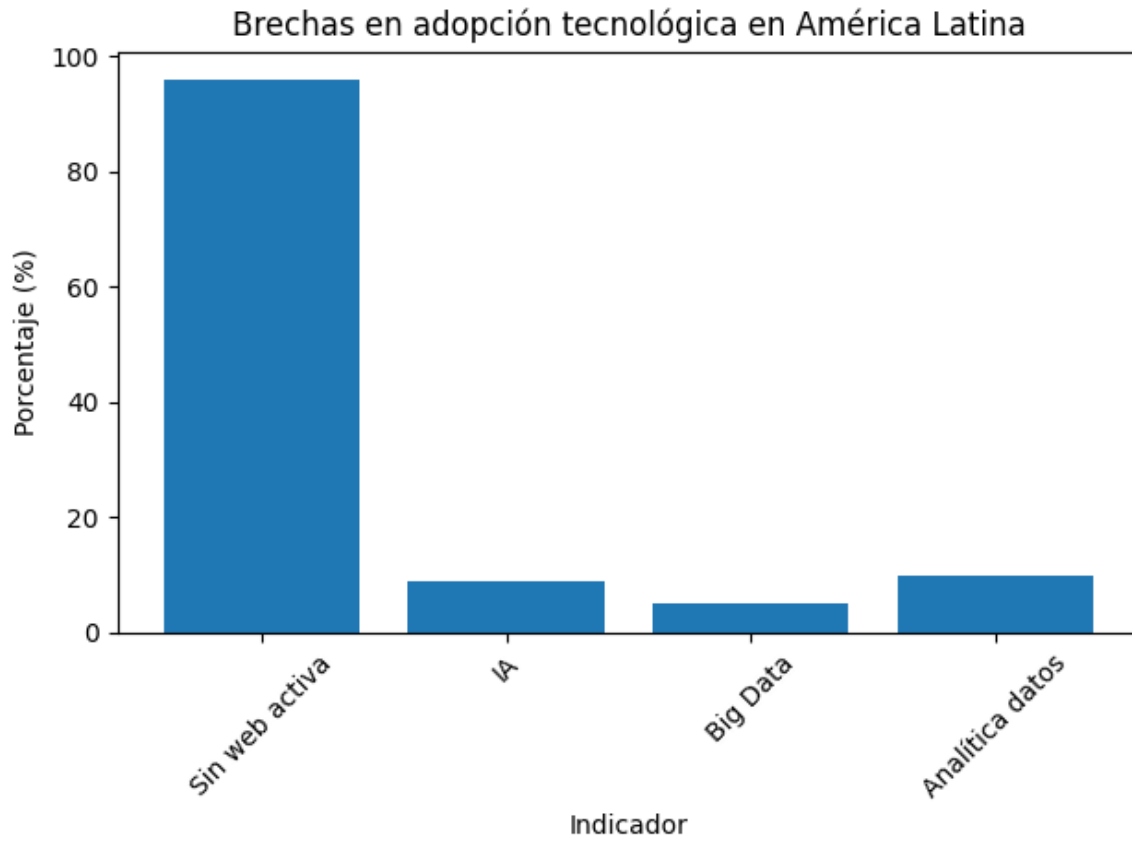
Tabla 2. Resultados estadísticos del análisis inferencial

Método	Relación analizada	Resultado	Interpretación
Pearson	Preparación vs capacidades digitales	$r = 0.438$	Relación positiva moderada
Regresión múltiple	lineal Infraestructura, innovación → digitalización	$R^2 = 0.046$	Baja capacidad explicativa
Significancia global	Modelo	$p = 0.889$	No significativo

Nota: Resultados del análisis estadístico inferencial aplicado al modelo regional.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo de regresión lineal múltiple evidenció un bajo poder explicativo ($R^2 = 0.046$), lo que indica que las variables estructurales aún no determinan de forma sólida la adopción de tecnologías digitales avanzadas. Este resultado es coherente con lo expuesto por Aparicio Pico et al. (2023), quienes señalan que la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en control de calidad aún se encuentra en fase de adopción progresiva.

Figura 2. Brechas en adopción de tecnologías digitales en América Latina



Nota: Indicadores de brecha tecnológica en adopción digital.
Fuente: CEPAL y Banco Mundial (2023).

Los resultados evidencian una brecha significativa entre digitalización básica y adopción de tecnologías avanzadas, lo que limita la implementación de sistemas de control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales. Este hallazgo es consistente con lo señalado por Rodríguez-Correa et al. (2023), quienes identifican una adopción desigual de tecnologías convergentes en la región.

En términos interpretativos, se confirma que el control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales depende no solo de la infraestructura tecnológica, sino también de la integración de capacidades digitales, analítica avanzada e inteligencia artificial. Este enfoque es respaldado por Muñoz y Vallecillo (2023), quienes destacan la necesidad de arquitecturas digitales integradas para el funcionamiento efectivo de los gemelos digitales.

Discusión

En términos generales, los hallazgos obtenidos evidencian que el control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales aún se encuentra en una fase de adopción desigual dentro de América Latina, situación que se relaciona directamente con las brechas estructurales de digitalización industrial. Este comportamiento coincide con lo expuesto por Santiago, Freire y Lavopa (2023), quienes señalan que la región presenta una heterogeneidad significativa en su nivel de preparación para la manufactura digital, lo cual limita la consolidación de sistemas avanzados basados en datos en tiempo real.

Desde una perspectiva analítica, la correlación positiva moderada ($r = 0.438$) obtenida entre preparación digital y capacidades tecnológicas sugiere una relación parcial entre ambas dimensiones, pero insuficiente para garantizar una implementación efectiva de gemelos digitales en procesos de control de calidad. Este resultado es coherente con lo planteado por Lalaleo Analuisa (2023), quien sostiene que la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 mejora el desempeño organizacional, aunque su impacto depende del nivel de madurez tecnológica y de la capacidad de integración digital de las organizaciones.

En relación con el modelo de regresión lineal múltiple, el bajo poder explicativo ($R^2 = 0.046$) evidencia que las variables estructurales analizadas no logran explicar de manera significativa la adopción de tecnologías digitales avanzadas. Este comportamiento es consistente con Ruiz de la Peña et al. (2022), quienes afirman que los modelos inteligentes de producción requieren una integración sistémica entre tecnología, procesos y capacidades organizacionales para generar impactos reales en la eficiencia operativa y la calidad del producto.

Por otra parte, la evidencia empírica muestra que la adopción de tecnologías como inteligencia artificial, big data y analítica avanzada aún es limitada en la región, lo cual restringe la implementación de sistemas de control de calidad en tiempo real. Este hallazgo se alinea con lo señalado por Aparicio Pico, Devia y Amaya (2023), quienes identifican que la aplicación de aprendizaje profundo en el control de calidad industrial todavía enfrenta barreras de implementación en entornos con baja madurez digital.

Asimismo, la brecha entre digitalización básica y digitalización avanzada constituye un factor determinante en la limitada expansión de los gemelos digitales. En este sentido, Rodríguez-Correa et al. (2023) advierten que las tecnologías convergentes de la Industria 4.0 presentan niveles de adopción desiguales en América Latina, lo que afecta directamente la capacidad de implementación de sistemas inteligentes de monitoreo y control en tiempo real.

De igual manera, los resultados evidencian que la transformación digital industrial no depende únicamente de la infraestructura tecnológica, sino también de la articulación entre innovación, capacidades productivas y gestión del conocimiento. Este planteamiento es consistente con Morris et al. (2022), quienes sostienen que la adopción de tecnologías de Industria 4.0 en MiPymes es progresiva y requiere procesos de adaptación gradual y sostenida.

Desde el punto de vista conceptual, los gemelos digitales representan una evolución del control de calidad tradicional hacia esquemas predictivos y autónomos. En este marco, Muñoz y Vallecillo (2023) destacan que su implementación efectiva depende de arquitecturas digitales integradas que permitan la sincronización en tiempo real entre el sistema físico y su réplica virtual, condición aún limitada en muchos contextos productivos de la región.

Finalmente, la transición hacia modelos de calidad 4.0 implica transformaciones tecnológicas y organizacionales simultáneas. En esta línea, Llanes-Font et al. (2023) señalan que los procesos inteligentes se fundamentan en la evolución hacia sistemas de mejora continua basados en datos, lo que coincide con los resultados obtenidos, donde se evidencia una adopción parcial de estas tecnologías en la región.

En consecuencia, la discusión permite afirmar que la implementación del control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales está condicionada por el nivel de madurez digital, la capacidad de integración tecnológica y la preparación organizacional, lo que confirma la persistencia de brechas estructurales en el proceso de transformación digital industrial en América Latina.



Conclusiones

En primer término, se establece que el control de calidad en tiempo real mediante gemelos digitales en América Latina aún se encuentra en una etapa de desarrollo inicial, evidenciándose una marcada heterogeneidad entre los países analizados. En efecto, los resultados permiten identificar que las economías con mayores niveles de infraestructura tecnológica, innovación y capacidades digitales presentan condiciones más favorables para la adopción de estos sistemas, mientras que aquellas con menor madurez digital mantienen limitaciones estructurales que restringen su implementación efectiva.

Desde otra perspectiva analítica, se concluye que la relación entre preparación digital y capacidades tecnológicas, aunque positiva, no alcanza una magnitud suficiente para explicar de manera determinante la adopción de gemelos digitales en los procesos de control de calidad. En consecuencia, el bajo poder explicativo del modelo de regresión múltiple evidencia que la digitalización industrial no puede ser comprendida exclusivamente desde variables estructurales, sino que requiere la consideración de factores interdependientes asociados a la innovación, la gestión organizacional y la integración tecnológica.

Finalmente, se determina que la implementación efectiva de sistemas de control de calidad en tiempo real basados en gemelos digitales demanda un proceso integral de fortalecimiento tecnológico y organizacional. En este sentido, resulta imprescindible consolidar la infraestructura digital, incorporar de manera intensiva tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial y la analítica de datos, y desarrollar capacidades institucionales orientadas a la transformación digital. De este modo, la reducción de las brechas entre digitalización básica y avanzada se convierte en un elemento clave para viabilizar la transición hacia modelos industriales inteligentes en la región.

Referencias bibliográficas

Álvarez Vásquez, O. W., & Arroyo Morocho, F. R. (2021). Industria 4.0 como factor diferenciador del sector industrial del Ecuador. *Ciencia Latina*, 5(3), 1–15. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.533

Aparicio Pico, L. E., Devia Lozano, P., & Amaya Marroquín, O. J. (2023). Aplicación de deep learning para la identificación de defectos superficiales utilizados en control de calidad de manufactura. *Ingeniería*, 28(1), e18934. <https://doi.org/10.14483/23448393.18934>

Belman-López, C. E., Jiménez-García, J. A., & Vázquez-López, J. A. (2023). Arquitectura para sistemas en Industria 4.0 basada en nube y analítica de datos. *RIAI*, 20(2), 137–149.

Bustamante Uzcátegui, W. G. (2021). Cadena de suministro 4.0 como tendencia disruptiva. *Visión Gerencial*, 20(2), 335–345.

CEPAL. (2023). Transformación digital en América Latina y el Caribe: Brechas y desafíos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org>

de Prada, C., Galán-Casado, S., & Gutiérrez-Rodríguez, G. (2022). Gemelos digitales en la industria de procesos. *RIAI*, 19(3), 285–296. <https://doi.org/10.4995/riai.2022.16901>

Dintén, R., López Martínez, P., & Zorrilla, M. (2021). Arquitectura de referencia para aplicaciones Industria 4.0. *RIAI*, 18(3), 300–311. <https://doi.org/10.4995/riai.2021.14532>

Foladori, G., & Ortiz-Espinoza, Á. (2022). Industria 4.0 y relación capital-trabajo. *Íconos*, 73, 161–177. <https://doi.org/10.17141/iconos.73.2022.5198>

González Herbón, R., Rodríguez Ossorio, J. R., & Domínguez González, M. (2023). Gemelo digital de célula robotizada. *Jornadas de Automática*.

González, P., Gómez, J., & Escaño, J. M. (2023). Desarrollo de gemelo digital: herramientas industriales. *Jornadas de Automática*.

Lalaleo Analuisa, F. R. (2023). Tecnologías Industria 4.0 en el desarrollo empresarial. *Vivat Academia*, 156, 271–287. <https://doi.org/10.15178/va.2023.156.e1473>

León García, A., & Madinabeitia, E. (2023). Industria 4.0 y competitividad empresarial. *RECIAMUC*, 7(2).

Llanes-Font, M., & Lorenzo-Llanes, E. (2021). Calidad 4.0 y revolución industrial. *Ciencias Holguín*, 27(2), 67–78.

Llanes-Font, M., Suárez-Benítez, M. Á., & Morejón-Borjas, M. M. (2023). Procesos inteligentes en Industria 4.0. *Ciencias Holguín*, 29(1).



Mahecha, N. (2023). Sistemas de gestión y transformación digital. *SIGNOS*, 15(2). <https://doi.org/10.15332/24631140.8862>

Martínez-Manso, H., & Delgado-Fernández, T. (2022). Arquitectura de gemelos digitales. *Revista I+D+i*, 12(2), 327–336. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n2.2022.15275>

Morris, L. H., Chávez, L. G., & Salazar, O. J. (2022). Industria 4.0 en MiPymes manufactureras. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 16(31), 70–80. <https://doi.org/10.31908/19098367.2750>

Muñoz, P., & Vallecillo, A. (2023). Arquitectura de gemelos digitales. *JISBD*.

Navarro Claro, G. T., & Naranjo Africano, G. (2023). Cultura de calidad en organizaciones. *Revista de Ciencias Sociales*, 29(8), 346–361.

Pérez-Domínguez, L. A., Ávila-López, J. R., & Luviano-Cruz, D. (2023). Industria 4.0 vs 5.0. *Mundo FESC*, 13(25), 7–19. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1248>

Rodríguez-Correa, P. A., Valencia-Arias, A., & Echeverri-Gutiérrez, M. (2023). Tecnologías convergentes en Industria 4.0. *Revista ION*, 36(2), 83–100. <https://doi.org/10.18273/revion.v36n2-2023006>

Ruiz de la Peña, J., Pérez-Campdesuñer, R., & Andrade-Molina, P. G. (2022). Modelos inteligentes en producción Industria 4.0. *Economía y Negocios*, 13(2). <https://doi.org/10.29019/eyn.v13i2.1084>

Santiago, F., Freire, C., & Lavopa, A. (2023). Industrial development report: Digital readiness in Latin America. UNIDO. <https://downloads.unido.org>

Velásquez Monroy, X. D. (2023). Industria 4.0 y logística inversa. *Loginn*, 7(1). <https://doi.org/10.23850/25907441.5277>

Versino, M., Guido, L., & Vidosa, R. (2023). Tecnologías 4.0 en pymes argentinas. *Ciencia, Tecnología y Política*, 6(11), 103–120.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés