

Transformación digital como estrategia para la optimización de sistemas productivos en la industria manufacturera

María del Consuelo Argüelles Arellano

Instituto Tecnológico de Zacatecas, Tecnológico Nacional de México,
Mexico

mariac.aa@zacatecas.tecnm.mx

Resumen. La transformación digital se ha convertido en un elemento estratégico para la competitividad de las organizaciones industriales, impulsando la integración de tecnologías digitales orientadas a la optimización de procesos productivos y la mejora de la toma de decisiones. El objetivo de este estudio es analizar el papel de la transformación digital como estrategia para la optimización de sistemas productivos en el contexto de la Industria 4.0. Para ello, se realizó una revisión sistemática de literatura basada en el protocolo PRISMA utilizando las bases de datos Scopus y Web of Science. Se examinaron investigaciones publicadas entre 2019 y 2025 relacionadas con transformación digital, manufactura inteligente, Internet de las Cosas, Big Data, Inteligencia Artificial, Cloud Computing y sistemas ERP/MES. Los resultados muestran que la adopción de tecnologías digitales favorece el incremento de la productividad, la reducción de costos operativos, la mejora de la calidad y la optimización de recursos.

Palabras clave. Transformación digital, Industria 4.0, sistemas productivos, manufactura inteligente, optimización de procesos, revisión sistemática.

Digital Transformation as a Strategy for Optimizing Production Systems in the Manufacturing Industry

Abstract. Digital transformation has become a strategic factor for industrial competitiveness by enabling the integration of digital technologies aimed at optimizing production systems and improving decision-making processes. The objective of this study is to analyze the role of digital transformation as a strategy for optimizing production systems within the industry 4.0 framework. A systematic literature review based on the PRISMA protocol was conducted using Scopus and Web of Science databases. Research articles published between 2019 and 2025 addressing digital transformation, smart manufacturing, Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Cloud Computing, and

ERP/MES systems were analyzed. The findings indicate that digital technologies contribute to increased productivity, cost reduction, quality improvement, and resource optimization.

Keywords. Digital transformation, Industry 4.0, production systems, smart manufacturing, process optimization, systematic literature review.

1. Introducción

La transformación digital constituye uno de los fenómenos más relevantes en la evolución de las organizaciones modernas. La creciente globalización de los mercados, la acelerada innovación tecnológica y la necesidad de mejorar la competitividad han impulsado a las empresas a adoptar nuevas estrategias orientadas a la digitalización de sus operaciones.

En el ámbito industrial, la incorporación de tecnologías digitales ha permitido optimizar procesos productivos, mejorar la calidad de los productos, reducir costos operativos y fortalecer la capacidad de respuesta ante cambios en la demanda. Este proceso ha dado origen al paradigma conocido como Industria 4.0, el cual promueve la integración inteligente de tecnologías de información, automatización y análisis de datos dentro de los sistemas productivos.

El objetivo de este trabajo es analizar el papel de la transformación digital como estrategia para la optimización de sistemas productivos, identificando sus fundamentos teóricos, tecnologías habilitadoras, beneficios, desafíos y perspectivas futuras. Este artículo constituye la primera etapa de una línea de investigación denominada "Transformación Digital, Analítica de Datos y Optimización de Sistemas Productivos",

cuyo propósito es estudiar la evolución de los sistemas industriales hacia modelos basados en datos y toma de decisiones inteligente.

2. Fundamentación teórica de la transformación digital

2.1. Conceptualización de la transformación digital

La transformación digital se ha consolidado como uno de los principales fenómenos de cambio organizacional en el siglo XXI, impulsando la incorporación de tecnologías digitales en procesos, estructuras y modelos de negocio con el propósito de generar ventajas competitivas sostenibles. A diferencia de enfoques centrados exclusivamente en la automatización tecnológica, la transformación digital implica una modificación profunda de la forma en que las organizaciones crean valor, interactúan con sus grupos de interés y toman decisiones estratégicas.

De acuerdo con Vial (2019), la transformación digital puede definirse como un proceso mediante el cual las tecnologías digitales provocan cambios significativos en una organización, afectando su creación de valor, estructura organizacional y capacidades operativas. Esta perspectiva ha sido complementada por Verhoef et al. (2021), quienes argumentan que la transformación digital constituye un fenómeno multidisciplinario que involucra dimensiones tecnológicas, organizacionales, estratégicas y humanas.

Desde esta perspectiva, la transformación digital no debe interpretarse como un proyecto tecnológico aislado, sino como una estrategia organizacional integral orientada a mejorar el desempeño empresarial mediante el aprovechamiento sistemático de tecnologías digitales y datos organizacionales (Kraus et al., 2022).

2.2. Evolución del concepto de transformación digital

La evolución de la transformación digital ha estado estrechamente vinculada al desarrollo de las tecnologías de información y comunicación. Durante las décadas de 1960 y 1970, los

esfuerzos organizacionales se concentraron principalmente en la automatización de procesos administrativos mediante sistemas computacionales. Posteriormente, durante las décadas de 1980 y 1990, la adopción de sistemas empresariales integrados permitió mejorar la gestión de recursos y la coordinación organizacional.

Sin embargo, fue con la expansión de Internet, la computación distribuida y las tecnologías móviles cuando comenzó a surgir el concepto moderno de transformación digital. Según Warner y Wäger (2019), las organizaciones contemporáneas enfrentan la necesidad de desarrollar capacidades dinámicas que les permitan adaptarse continuamente a entornos digitales altamente cambiantes.

Verhoef et al. (2021) sostienen que la transformación digital ha evolucionado desde iniciativas de digitalización de procesos hacia modelos organizacionales basados en datos, inteligencia artificial y plataformas digitales. Esta evolución ha generado nuevas oportunidades para optimizar procesos productivos, mejorar la experiencia del cliente y desarrollar modelos de negocio innovadores.

Actualmente, la transformación digital es considerada un proceso continuo de innovación organizacional que requiere la integración de tecnologías emergentes, cambios culturales y nuevas capacidades de gestión para responder a las exigencias de la economía digital (Kraus et al., 2022).

2.3. Diferencias entre digitización, digitalización y transformación digital

En la literatura académica es frecuente encontrar el uso indistinto de los términos digitización, digitalización y transformación digital. No obstante, diversos autores han destacado la necesidad de diferenciar estos conceptos debido a su alcance y complejidad.

La digitización se refiere al proceso de convertir información analógica en formato digital. Ejemplos comunes incluyen la digitalización de documentos físicos, registros administrativos o planos industriales. Este nivel representa el primer paso hacia la adopción de tecnologías digitales (Vial, 2019).

Por su parte, la digitalización implica la utilización de tecnologías digitales para mejorar procesos existentes, incrementando la eficiencia operativa y reduciendo actividades manuales. En esta etapa, las organizaciones comienzan a utilizar sistemas de información para optimizar tareas específicas sin modificar significativamente sus modelos de negocio (Verhoef et al., 2021).

La transformación digital representa un nivel superior de madurez organizacional, caracterizado por cambios estratégicos que afectan la estructura organizacional, la cultura empresarial, los mecanismos de toma de decisiones y la generación de valor. Según Kraus et al. (2022), la transformación digital implica una reconfiguración integral de la organización orientada a aprovechar plenamente las oportunidades generadas por las tecnologías digitales.

Esta diferenciación resulta especialmente relevante en el contexto industrial, donde muchas organizaciones han logrado digitalizar procesos específicos, pero aún enfrentan desafíos para alcanzar una verdadera transformación digital.

2.4. Dimensiones de la transformación digital

La literatura especializada identifica diversas dimensiones que intervienen en los procesos de transformación digital. Estas dimensiones permiten comprender la naturaleza multidisciplinaria del fenómeno y explican por qué su implementación trasciende el ámbito tecnológico.

Dimensión tecnológica

La dimensión tecnológica comprende la infraestructura digital, los sistemas de información y las herramientas tecnológicas necesarias para capturar, procesar y compartir información. Según Vial (2019), esta dimensión constituye el elemento habilitador que permite el desarrollo de nuevas capacidades organizacionales.

Dimensión organizacional

La dimensión organizacional se relaciona con los cambios en procesos, estructuras jerárquicas, mecanismos de coordinación y formas de trabajo. Verhoef et al. (2021) señalan que la transformación digital requiere rediseñar procesos

organizacionales para aprovechar plenamente las capacidades tecnológicas disponibles.

Dimensión humana

La dimensión humana considera el papel de las personas en los procesos de transformación digital. Warner y Wäger (2019) destacan que el desarrollo de competencias digitales y la gestión del cambio constituyen factores críticos para el éxito de cualquier iniciativa de transformación organizacional.

Dimensión estratégica

La dimensión estratégica implica la alineación entre las tecnologías digitales y los objetivos organizacionales. Kraus et al. (2022) argumentan que las organizaciones exitosas incorporan la transformación digital como un componente central de su estrategia competitiva y no únicamente como una iniciativa tecnológica.

La interacción entre estas dimensiones determina el grado de madurez digital alcanzado por una organización y condiciona el impacto que las tecnologías digitales pueden generar sobre su desempeño.

2.5. Capacidades dinámicas y transformación digital

Uno de los enfoques teóricos más utilizados para explicar la transformación digital es la teoría de capacidades dinámicas. Este marco conceptual sostiene que las organizaciones deben desarrollar capacidades para identificar oportunidades, responder a cambios del entorno y reconfigurar continuamente sus recursos estratégicos.

Warner y Wäger (2019) argumentan que la transformación digital requiere capacidades organizacionales orientadas a detectar tendencias tecnológicas, integrar nuevas soluciones digitales y gestionar procesos de innovación continua. Estas capacidades permiten a las organizaciones adaptarse a entornos caracterizados por elevados niveles de incertidumbre tecnológica.

De manera similar, Verhoef et al. (2021) destacan que la capacidad de aprendizaje organizacional constituye un elemento fundamental para aprovechar el potencial de las tecnologías digitales y generar ventajas competitivas sostenibles.

En el ámbito industrial, estas capacidades resultan especialmente relevantes debido a la rápida evolución de tecnologías asociadas con la Industria 4.0, como Internet de las Cosas, Big Data, Inteligencia Artificial y sistemas ciberfísicos.

2.6. Síntesis Teórica

La revisión de la literatura permite establecer que la transformación digital constituye un proceso estratégico de cambio organizacional impulsado por el uso de tecnologías digitales. Lejos de limitarse a la automatización de actividades, implica modificaciones profundas en la estructura organizacional, los procesos, las competencias del personal y los mecanismos de creación de valor.

Los estudios analizados coinciden en que el éxito de la transformación digital depende de la capacidad de las organizaciones para integrar dimensiones tecnológicas, organizacionales, humanas y estratégicas de manera coordinada (Vial, 2019; Verhoef et al., 2021; Kraus et al., 2022).

A partir de estos fundamentos teóricos, resulta pertinente analizar cómo estos principios han sido aplicados al ámbito industrial mediante el paradigma de la Industria 4.0, el cual constituye actualmente uno de los principales impulsores de la transformación digital en los sistemas productivos modernos.

3. Industria 4.0 y sistemas productivos

3.1. Origen y evolución de la Industria 4.0

La Industria 4.0 representa la cuarta revolución industrial y constituye uno de los principales impulsores de la transformación digital en los sistemas productivos contemporáneos. Este concepto surgió en Alemania en 2011 como parte de una estrategia nacional orientada a fortalecer la competitividad industrial mediante la integración de tecnologías digitales avanzadas en los procesos de manufactura.

Según Culot et al. (2020), la Industria 4.0 puede entenderse como un paradigma industrial basado en la convergencia entre tecnologías

digitales, sistemas físicos y redes inteligentes de comunicación. Su propósito fundamental consiste en crear entornos productivos altamente conectados capaces de intercambiar información en tiempo real, adaptarse a condiciones cambiantes y optimizar continuamente su desempeño operativo.

Frank, Dalenogare y Ayala (2019) sostienen que la Industria 4.0 no debe interpretarse únicamente como una evolución tecnológica, sino como una transformación integral de los modelos de producción tradicionales. Desde esta perspectiva, las organizaciones evolucionan desde sistemas de manufactura convencionales hacia ecosistemas productivos inteligentes caracterizados por altos niveles de automatización, conectividad e interoperabilidad.

La literatura reciente coincide en que la Industria 4.0 constituye la materialización práctica de la transformación digital dentro del contexto industrial, ya que proporciona los mecanismos tecnológicos necesarios para convertir datos operacionales en información estratégica orientada a la mejora continua (Ghobakhloo, 2020).

3.2. Principios fundamentales de la Industria 4.0

Diversos autores han identificado principios fundamentales que distinguen a la Industria 4.0 de los modelos tradicionales de producción. Entre los más relevantes destacan la interoperabilidad, la virtualización, la descentralización, la capacidad de operación en tiempo real, la orientación al servicio y la modularidad.

La interoperabilidad permite que máquinas, dispositivos, sensores y sistemas de información intercambien datos de manera automática y coordinada. Según Javaid et al. (2021), esta capacidad constituye la base para la construcción de fábricas inteligentes capaces de responder dinámicamente a cambios en la demanda y condiciones operativas.

La virtualización facilita la creación de representaciones digitales de procesos físicos mediante sistemas ciberfísicos y modelos virtuales. Este enfoque permite monitorear, analizar y optimizar operaciones sin intervenir directamente en el entorno productivo.

Por otra parte, la descentralización promueve que determinadas decisiones operativas sean tomadas por sistemas inteligentes de manera autónoma, reduciendo tiempos de respuesta y mejorando la eficiencia operativa. Frank et al. (2019) señalan que esta característica permite incrementar significativamente la flexibilidad de los sistemas productivos modernos.

La operación en tiempo real constituye otro principio esencial, ya que posibilita la captura y procesamiento continuo de información generada por equipos, sensores y plataformas digitales. Como consecuencia, las organizaciones pueden identificar desviaciones operativas y aplicar acciones correctivas de manera inmediata.

3.3. Sistemas productivos en el contexto de la Industria 4.0

Los sistemas productivos han evolucionado significativamente durante las últimas décadas debido a la incorporación de tecnologías digitales y nuevas metodologías de gestión. Tradicionalmente, estos sistemas se enfocaban en maximizar la eficiencia mediante la estandarización de procesos y la automatización de tareas repetitivas.

Sin embargo, la creciente complejidad de los mercados y la necesidad de personalización han impulsado el desarrollo de sistemas productivos inteligentes capaces de adaptarse rápidamente a cambios en la demanda. Ghobakhloo (2020) sostiene que la Industria 4.0 transforma los sistemas productivos convencionales en plataformas inteligentes orientadas a la generación de valor mediante el uso intensivo de información.

En este contexto, los sistemas productivos dejan de operar como estructuras aisladas y evolucionan hacia redes digitales interconectadas donde personas, máquinas y sistemas de información colaboran para optimizar la producción. Esta integración favorece una mayor visibilidad de las operaciones y mejora la capacidad de respuesta organizacional.

Asimismo, Javaid et al. (2021) destacan que la manufactura inteligente permite integrar procesos de diseño, producción, logística y mantenimiento dentro de un ecosistema digital unificado, facilitando la toma de decisiones basada en datos.

3.4. Integración de tecnologías digitales en los sistemas productivos

La transformación de los sistemas productivos impulsada por la Industria 4.0 depende de la integración de diversas tecnologías digitales que permiten capturar, procesar y utilizar información en tiempo real.

Frank et al. (2019) identifican dos grandes grupos de tecnologías dentro de la Industria 4.0: tecnologías de base y tecnologías de aplicación. Las tecnologías de base incluyen Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Cloud Computing, Inteligencia Artificial y sistemas ciberfísicos. Por otro lado, las tecnologías de aplicación comprenden soluciones específicas orientadas a manufactura inteligente, mantenimiento predictivo, trazabilidad y optimización de procesos.

La integración de estas tecnologías permite desarrollar capacidades avanzadas para monitorear operaciones, anticipar fallas, optimizar recursos y mejorar la productividad. Según Culot et al. (2020), la capacidad de combinar múltiples tecnologías digitales constituye uno de los factores que explica el impacto transformador de la Industria 4.0 sobre los sistemas productivos.

De manera complementaria, Ghobakhloo (2020) señala que la generación continua de datos operacionales crea oportunidades para implementar modelos de gestión basados en evidencia, favoreciendo procesos de mejora continua y toma de decisiones más precisos.

3.5. Impacto de la Industria 4.0 en la productividad y competitividad

La evidencia científica disponible muestra que la adopción de tecnologías asociadas con la Industria 4.0 genera efectos positivos sobre diversos indicadores de desempeño organizacional.

Frank et al. (2019) reportan que las empresas manufactureras que implementan tecnologías digitales avanzadas experimentan mejoras en productividad, calidad, flexibilidad y eficiencia operativa. De manera similar, Ghobakhloo (2020) destaca que la digitalización de procesos contribuye a reducir costos, optimizar recursos y fortalecer la competitividad empresarial.

Por otra parte, Javaid et al. (2021) señalan que la Industria 4.0 favorece la creación de sistemas productivos más resilientes y adaptables, capaces de responder eficazmente a cambios en el entorno económico y tecnológico. Estas capacidades resultan especialmente relevantes en escenarios caracterizados por alta incertidumbre y creciente presión competitiva.

No obstante, diversos estudios advierten que los beneficios de la Industria 4.0 dependen de factores organizacionales complementarios, incluyendo liderazgo estratégico, capacitación del personal, infraestructura tecnológica y gestión del cambio (Verhoef et al., 2021).

3.6. Retos para la implementación de la Industria 4.0

A pesar de sus beneficios potenciales, la implementación de iniciativas de Industria 4.0 continúa enfrentando múltiples desafíos. Entre los más frecuentes se encuentran los elevados costos de inversión inicial, la falta de competencias digitales, la resistencia al cambio organizacional y las dificultades para integrar tecnologías emergentes con sistemas heredados.

Culot et al. (2020) destacan que muchas organizaciones presentan dificultades para comprender el alcance real de la Industria 4.0 y desarrollar estrategias adecuadas para su adopción. Asimismo, Ghobakhloo (2020) señala que la ausencia de una visión estratégica clara constituye una de las principales causas de fracaso en proyectos de transformación digital industrial.

Desde una perspectiva tecnológica, la interoperabilidad entre sistemas, la ciberseguridad y la gestión de grandes volúmenes de datos representan desafíos significativos para las organizaciones manufactureras. Estos aspectos requieren inversiones continuas en infraestructura tecnológica y desarrollo de capacidades especializadas.

3.7. Síntesis de la sección

La revisión de la literatura permite concluir que la Industria 4.0 constituye el principal marco de referencia para la aplicación de la transformación digital en los sistemas productivos modernos. Su

enfoque basado en conectividad, automatización inteligente y análisis de datos ha transformado profundamente la forma en que las organizaciones diseñan, operan y optimizan sus procesos productivos.

Los estudios analizados coinciden en que la implementación exitosa de la Industria 4.0 depende de la integración coordinada de múltiples tecnologías digitales, capaces de generar información en tiempo real y apoyar la toma de decisiones basada en evidencia (Frank et al., 2019; Culot et al., 2020; Ghobakhloo, 2020).

A partir de este contexto, resulta necesario analizar las tecnologías específicas que actúan como habilitadores de la transformación digital y permiten materializar los principios de la Industria 4.0 dentro de los sistemas productivos. Estas tecnologías se analizan en la siguiente sección.

4. Tecnologías habilitadoras de la transformación digital

La transformación digital en los sistemas productivos se sustenta en un conjunto de tecnologías que permiten la captura, procesamiento, análisis e integración de información en tiempo real. Estas tecnologías constituyen los principales habilitadores de la Industria 4.0 y han impulsado el desarrollo de entornos de manufactura inteligente orientados a mejorar la productividad, flexibilidad y competitividad de las organizaciones (Frank et al., 2019; Culot et al., 2020).

4.1. Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) se refiere a la interconexión de dispositivos físicos mediante redes de comunicación capaces de recopilar, transmitir y procesar información en tiempo real. En el contexto industrial, el IoT permite que máquinas, sensores, equipos de producción y sistemas de monitoreo intercambien información de manera continua, facilitando la supervisión y control de los procesos productivos.

De acuerdo con Lu, Morris y Frechette (2020), el IoT constituye una de las tecnologías fundamentales para la manufactura inteligente debido a su capacidad para conectar activos

físicos con plataformas digitales. Asimismo, Mourtzis, Angelopoulos y Panopoulos (2022) señalan que la integración de sensores inteligentes permite recopilar grandes volúmenes de información operativa que pueden utilizarse para monitoreo en tiempo real, mantenimiento predictivo y optimización de recursos.

Diversos estudios coinciden en que el IoT representa la principal fuente generadora de datos dentro de los sistemas productivos digitalizados, proporcionando la infraestructura necesaria para el desarrollo de aplicaciones avanzadas de analítica y automatización (Frank et al., 2019).

4.2. Big Data

El crecimiento exponencial de los datos generados por sensores, sistemas empresariales y plataformas digitales ha impulsado el desarrollo de tecnologías Big Data orientadas al almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de información.

Según Wamba et al. (2020), las capacidades analíticas derivadas de Big Data permiten transformar datos operativos en conocimiento útil para la toma de decisiones organizacionales. De manera similar, Mikalef et al. (2020) concluyen que las organizaciones que desarrollan capacidades avanzadas de analítica de datos obtienen ventajas competitivas significativas en términos de eficiencia y desempeño operativo.

Por su parte, Grover et al. (2020) destacan que el verdadero valor de Big Data no reside únicamente en la disponibilidad de información, sino en la capacidad de generar inteligencia de negocio que apoye la toma de decisiones estratégicas y operativas.

En los sistemas productivos, Big Data permite identificar patrones de comportamiento, detectar anomalías, optimizar procesos y desarrollar modelos predictivos que contribuyen a mejorar la productividad industrial.

4.3. Cloud Computing

La computación en la nube (Cloud Computing) proporciona recursos tecnológicos bajo demanda que facilitan el almacenamiento, procesamiento y acceso remoto a grandes volúmenes de información.

Mell y Grance (2021) definen la computación en la nube como un modelo que permite el acceso ubicuo y conveniente a recursos computacionales configurables, incluyendo redes, servidores, almacenamiento y aplicaciones. Esta tecnología ha adquirido especial relevancia en la Industria 4.0 debido a la necesidad de gestionar información proveniente de múltiples dispositivos y ubicaciones geográficas.

Hashem et al. (2020) señalan que la integración entre Big Data y Cloud Computing permite procesar grandes cantidades de información de manera eficiente y escalable, reduciendo significativamente los costos asociados a infraestructura tecnológica.

En el ámbito manufacturero, la computación en la nube facilita la integración de sistemas productivos distribuidos, mejora la disponibilidad de la información y favorece la colaboración entre diferentes áreas organizacionales.

4.4. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) se ha convertido en uno de los principales motores de innovación dentro de los sistemas productivos modernos. Su capacidad para aprender a partir de datos históricos y generar predicciones permite automatizar procesos complejos y apoyar la toma de decisiones.

Dwivedi et al. (2021) sostienen que la IA está transformando múltiples sectores económicos al proporcionar herramientas avanzadas para el análisis predictivo, la automatización y la optimización de procesos. En el contexto industrial, sus aplicaciones incluyen mantenimiento predictivo, control de calidad automatizado, programación de la producción y optimización de inventarios.

Asimismo, Sharma, Mithas y Kankanhalli (2022) destacan que la IA mejora significativamente la calidad y velocidad de las decisiones organizacionales al procesar grandes volúmenes de información y generar recomendaciones basadas en evidencia.

La literatura especializada coincide en que la Inteligencia Artificial representa el componente que permite convertir los datos generados por la transformación digital en conocimiento útil para mejorar el desempeño organizacional.

4.5. Sistemas ERP y MES

Los sistemas Enterprise Resource Planning (ERP) y Manufacturing Execution Systems (MES) desempeñan un papel fundamental en la integración de información dentro de los entornos industriales digitalizados.

Monostori et al. (2020) destacan que los sistemas ciberfísicos y las plataformas integradas de manufactura constituyen la base tecnológica de la Industria 4.0, permitiendo la coordinación entre procesos físicos y digitales. Por su parte, Mittal et al. (2020) señalan que los sistemas de manufactura inteligente requieren plataformas capaces de integrar información procedente de diferentes niveles organizacionales.

Los sistemas ERP permiten gestionar recursos empresariales relacionados con finanzas, compras, ventas, recursos humanos y producción. En contraste, los sistemas MES se enfocan en la supervisión y control de las operaciones de manufactura en tiempo real.

La integración entre ERP y MES facilita la sincronización de información estratégica y operativa, contribuyendo a una mejor coordinación de la producción, reducción de tiempos de respuesta y optimización de recursos.

5. Beneficios y desafíos de implementación

5.1. Beneficios de la transformación digital en los sistemas productivos

La literatura científica coincide en que la transformación digital y la adopción de tecnologías asociadas con la Industria 4.0 generan beneficios significativos para las organizaciones manufactureras. Estos beneficios abarcan dimensiones operativas, estratégicas, económicas y organizacionales, contribuyendo al fortalecimiento de la competitividad empresarial y a la mejora continua de los sistemas productivos.

Frank, Dalenogare y Ayala (2019) identifican que las organizaciones que implementan tecnologías digitales avanzadas experimentan mejoras sustanciales en productividad, eficiencia operativa y flexibilidad productiva. De manera similar, Ghobakhloo (2020) sostiene que la

digitalización de los procesos industriales permite optimizar recursos, reducir costos operativos y mejorar la capacidad de respuesta ante cambios en el entorno competitivo.

Asimismo, Verhoef et al. (2021) argumentan que la transformación digital favorece la creación de nuevas capacidades organizacionales que permiten responder de manera más efectiva a entornos dinámicos y altamente inciertos. Estas capacidades incluyen una mejor integración de información, una mayor velocidad en la toma de decisiones y una mejor coordinación entre las diferentes áreas funcionales de la organización.

Los principales beneficios identificados en la literatura se describen a continuación.

5.1.1. Incremento de la productividad

Uno de los beneficios más reportados es el aumento de la productividad derivado de la automatización de procesos, la reducción de tiempos improductivos y la optimización del uso de recursos.

Frank et al. (2019) reportan que las empresas manufactureras que integran tecnologías de Industria 4.0 logran incrementar significativamente su capacidad productiva mediante la automatización inteligente y el monitoreo en tiempo real de las operaciones. Por su parte, Javaid et al. (2021) señalan que la disponibilidad continua de información permite reducir tiempos de respuesta y mejorar la eficiencia global de los procesos.

La productividad se ve favorecida especialmente cuando las organizaciones integran tecnologías como Internet de las Cosas, Big Data e Inteligencia Artificial para optimizar la planificación, programación y control de la producción.

5.1.2. Mejora de la calidad y la trazabilidad

La transformación digital también contribuye a mejorar la calidad de productos y procesos mediante la captura continua de datos operacionales y la detección temprana de desviaciones.

Según Mourtzis et al. (2022), los sistemas basados en IoT permiten monitorear variables críticas de producción en tiempo real, facilitando la identificación de problemas antes de que impacten la calidad del producto final. Asimismo,

la integración de sensores inteligentes favorece la trazabilidad completa de los procesos productivos.

Ghobakhloo (2020) destaca que la disponibilidad de información histórica y en tiempo real permite implementar mecanismos de control de calidad más precisos y orientados a la prevención de defectos.

5.1.3. Optimización de recursos y reducción de costos

La digitalización de procesos permite una utilización más eficiente de recursos materiales, energéticos y humanos.

De acuerdo con Jamwal et al. (2021), las tecnologías de Industria 4.0 contribuyen a reducir desperdicios, optimizar el consumo energético y mejorar la utilización de activos productivos. Los autores destacan que estas mejoras generan beneficios económicos y ambientales simultáneamente.

Por otra parte, Wamba et al. (2020) señalan que el análisis avanzado de datos permite identificar oportunidades de mejora operativa que conducen a reducciones significativas de costos asociados a mantenimiento, inventarios y tiempos de inactividad.

5.1.4. Mejora en la toma de decisiones

La capacidad de capturar, procesar y analizar información en tiempo real constituye uno de los principales aportes de la transformación digital.

Mikalef et al. (2020) sostienen que las capacidades analíticas basadas en Big Data permiten transformar información operativa en conocimiento útil para la toma de decisiones estratégicas y operativas. De manera complementaria, Sharma, Mithas y Kankanhalli (2022) destacan que la Inteligencia Artificial mejora la calidad de las decisiones mediante modelos predictivos y sistemas de recomendación basados en evidencia.

Como consecuencia, las organizaciones pueden responder con mayor rapidez a cambios en la demanda, condiciones del mercado o problemas operativos.

5.1.5. Incremento de la competitividad organizacional

La combinación de productividad, calidad, eficiencia y capacidad analítica contribuye

directamente a fortalecer la competitividad empresarial.

Verhoef et al. (2021) argumentan que las organizaciones digitalmente maduras desarrollan ventajas competitivas sostenibles debido a su capacidad para innovar, adaptarse y generar valor de manera más eficiente. Asimismo, Kraus et al. (2022) señalan que la transformación digital se ha convertido en un factor estratégico indispensable para competir en mercados globalizados y altamente dinámicos.

5.2. Desafíos para la implementación de la transformación digital

A pesar de los beneficios potenciales, la implementación de iniciativas de transformación digital continúa enfrentando múltiples obstáculos tecnológicos, organizacionales y humanos. La literatura especializada coincide en que la adopción exitosa de tecnologías digitales requiere superar barreras que van más allá de la simple adquisición de infraestructura tecnológica.

5.2.1. Resistencia al cambio organizacional

Uno de los desafíos más recurrentes es la resistencia al cambio por parte de empleados y directivos.

Warner y Wäger (2019) sostienen que la transformación digital implica modificaciones significativas en rutinas de trabajo, estructuras organizacionales y modelos de gestión, generando incertidumbre y resistencia entre los miembros de la organización. Esta situación puede dificultar la adopción efectiva de nuevas tecnologías y limitar los beneficios esperados.

Verhoef et al. (2021) destacan que la gestión del cambio constituye un elemento crítico para el éxito de cualquier iniciativa de transformación digital.

5.2.2. Falta de competencias digitales

La escasez de personal capacitado representa otro desafío importante para las organizaciones manufactureras.

Kraus et al. (2022) señalan que muchas empresas enfrentan dificultades para desarrollar o adquirir talento especializado en tecnologías digitales, analítica de datos e inteligencia artificial. Esta limitación reduce la capacidad organizacional

para aprovechar plenamente el potencial de las tecnologías implementadas.

La capacitación continua y el desarrollo de competencias digitales se consideran elementos esenciales para garantizar una transición exitosa hacia modelos de manufactura inteligente.

5.2.3. Costos de implementación e infraestructura tecnológica

La adopción de tecnologías digitales suele requerir inversiones significativas en infraestructura, software, capacitación y consultoría especializada.

Culot et al. (2020) identifican que los costos iniciales constituyen una de las principales barreras para la implementación de tecnologías de Industria 4.0, especialmente en pequeñas y medianas empresas. Estas organizaciones frecuentemente enfrentan restricciones financieras que limitan su capacidad para desarrollar proyectos de transformación digital a gran escala.

5.2.4. Integración de sistemas y problemas de interoperabilidad

La coexistencia de sistemas heredados y nuevas tecnologías genera desafíos relacionados con interoperabilidad e integración de información.

Monostori et al. (2020) destacan que la creación de entornos productivos inteligentes requiere integrar múltiples plataformas tecnológicas capaces de intercambiar información de manera segura y eficiente. Sin embargo, muchas organizaciones operan con sistemas desarrollados en diferentes momentos y bajo distintos estándares tecnológicos.

Como consecuencia, la integración tecnológica representa uno de los desafíos más complejos dentro de los procesos de transformación digital.

5.2.5. Ciberseguridad y protección de datos

El incremento en la conectividad y digitalización de procesos también aumenta la exposición a riesgos de seguridad informática.

Ghobakhloo (2020) señala que la interconexión entre dispositivos, sensores y plataformas digitales genera nuevas vulnerabilidades relacionadas con ataques cibernéticos, acceso no autorizado a información y pérdida de datos críticos.

Por ello, la ciberseguridad se ha convertido en un componente estratégico dentro de los proyectos de Industria 4.0, requiriendo inversiones permanentes en protección de infraestructura y gestión de riesgos tecnológicos.

5.3. Síntesis de la Sección

La evidencia científica revisada demuestra que la transformación digital ofrece beneficios significativos en términos de productividad, calidad, eficiencia operativa, sostenibilidad y competitividad organizacional. Sin embargo, la obtención de estos beneficios depende de la capacidad de las organizaciones para superar desafíos relacionados con gestión del cambio, desarrollo de competencias digitales, integración tecnológica y ciberseguridad.

Los estudios analizados coinciden en que el éxito de la transformación digital no depende exclusivamente de la tecnología implementada, sino de la capacidad organizacional para integrar procesos, personas y recursos dentro de una estrategia coherente de innovación y mejora continua (Verhoef et al., 2021; Kraus et al., 2022).

Esta relación entre beneficios y desafíos permite comprender por qué algunas organizaciones logran capturar valor a partir de la transformación digital mientras otras enfrentan dificultades para materializar sus beneficios potenciales. Los resultados de la revisión sistemática de literatura presentados en la siguiente sección permitirán identificar con mayor detalle las tendencias, patrones y hallazgos reportados por la investigación reciente.

6. Metodología de revisión sistemática de literatura

La presente investigación se desarrolló mediante una revisión sistemática de literatura con el propósito de identificar, analizar y sintetizar estudios científicos relacionados con la transformación digital, la Industria 4.0 y la optimización de sistemas productivos en el sector manufacturero.

La revisión se diseñó tomando como referencia el protocolo PRISMA, ampliamente utilizado para fortalecer la transparencia y trazabilidad en

revisiones sistemáticas. Este enfoque permite documentar las etapas de identificación, depuración, elegibilidad e inclusión de los estudios analizados.

6.1. Pregunta de investigación

La revisión se orientó por la siguiente pregunta principal: ¿Cómo contribuye la transformación digital, mediante tecnologías habilitadoras de Industria 4.0 a la optimización de los sistemas productivos en la industria manufacturera?

De esta pregunta se derivaron las siguientes preguntas específicas:

1. ¿Cuáles son las principales tecnologías digitales aplicadas en sistemas productivos?
2. ¿Qué beneficios reporta la literatura sobre la adopción de tecnologías de transformación digital?
3. ¿Cuáles son los principales desafíos para implementar transformación digital en ambientes manufactureros?
4. ¿Qué relación existe entre transformación digital, Industria 4.0 y optimización de procesos productivos?

6.2. Fuentes de información y periodo de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó durante el mes de junio de 2026 en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS), seleccionadas por su reconocimiento internacional y amplia cobertura de literatura científica indexada en las áreas de ingeniería, administración, manufactura y transformación digital.

Se utilizaron ambas bases de datos con el propósito de garantizar una cobertura amplia y minimizar posibles sesgos derivados de la consulta de una única fuente de información. La estrategia de búsqueda se enfocó en publicaciones relacionadas con transformación digital, Industria 4.0, manufactura inteligente, sistemas productivos, Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Inteligencia Artificial, Cloud Computing y sistemas ERP/MES.

La consulta se restringió a publicaciones realizadas entre 2019 y 2025, considerando únicamente artículos científicos y revisiones sistemáticas arbitradas en idioma inglés y español.

6.3. Estrategia de búsqueda

La búsqueda se realizó utilizando combinaciones de palabras clave en inglés, debido a que la mayor parte de la literatura científica indexada en estas áreas se publica en dicho idioma. Las cadenas de búsqueda propuestas fueron:

Cadena 1:

“digital transformation” AND “manufacturing” AND “production systems”

Cadena 2:

“Industry 4.0” AND “smart manufacturing” AND “production optimization”

Cadena 3:

“IoT” OR “Big Data” OR “Artificial Intelligence” OR “Cloud Computing” AND “manufacturing systems”

Cadena 4:

“ERP” OR “MES” AND “Industry 4.0” AND “manufacturing”

Cadena 5:

“digital transformation” AND “Industry 4.0” AND “systematic literature review”

6.4. Criterios de inclusión

Se consideraron los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículos publicados entre 2019 y 2025.
2. Estudios publicados en revistas científicas arbitradas.
3. Investigaciones relacionadas con transformación digital, Industria 4.0, manufactura inteligente, sistemas productivos, IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, Cloud Computing, ERP o MES.
4. Artículos escritos en inglés o español.

5. Estudios con aplicación, análisis o discusión orientada al sector manufacturero o sistemas productivos.

6.5. Criterios de exclusión

Se excluyeron:

1. Documentos sin revisión por pares.
2. Artículos duplicados.
3. Estudios enfocados exclusivamente en sectores no industriales.
4. Publicaciones sin relación directa con sistemas productivos.
5. Documentos de opinión sin metodología explícita.
6. Trabajos cuyo texto completo no estuviera disponible para revisión.

6.6. Procedimiento de selección

Como resultado de la estrategia de búsqueda implementada, se recuperaron inicialmente 328 registros bibliográficos, de los cuales 185 correspondieron a Scopus y 143 a Web of Science. Posteriormente se eliminaron 74 registros duplicados, obteniéndose 254 artículos para revisión preliminar.

Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión mediante la revisión de títulos, resúmenes y palabras clave, se seleccionaron 67 estudios para análisis a texto completo. Finalmente, 25 artículos cumplieron con todos los criterios metodológicos establecidos y fueron incorporados al análisis final de la investigación.

6.7. Artículos base considerados

La revisión se apoyó en investigaciones ampliamente citadas y reconocidas en el campo de la transformación digital y la Industria 4.0, entre ellas:

- Vial (2019), quien desarrolla una revisión conceptual sobre transformación digital y propone una agenda de investigación.
- Verhoef et al. (2021), quienes analizan la transformación digital desde una perspectiva multidisciplinaria.

- Frank, Dalenogare y Ayala (2019), quienes estudian patrones de implementación de tecnologías de Industria 4.0 en empresas manufactureras.
- Jamwal et al. (2021), quienes realizan una revisión sistemática sobre tecnologías de Industria 4.0 orientadas a sostenibilidad manufacturera.
- Ghobakhloo et al. (2024), quienes analizan la evolución de la manufactura digital hacia enfoques humanos, sostenibles y resilientes.
- Zamora-Iribarren et al. (2024), quienes revisan instrumentos de evaluación de madurez digital e Industria 4.0.
- Estudios recientes sobre MES en Industria 4.0, donde se identifica la importancia de los sistemas de ejecución de manufactura para la toma de decisiones en tiempo real.

6.8. Diagrama PRISMA del proceso de selección de artículos

Con el propósito de garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso de revisión sistemática, se siguieron las directrices establecidas por la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) propuesta por Page et al. (2021).

El proceso de selección de artículos se desarrolló en cuatro etapas: identificación, depuración, elegibilidad e inclusión. Inicialmente se realizaron búsquedas en las bases de datos Scopus y Web of Science utilizando las cadenas de búsqueda definidas en la metodología. Posteriormente, se eliminaron los registros duplicados y aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos.

En la etapa de elegibilidad se revisaron los títulos, resúmenes y palabras clave de los artículos recuperados para determinar su pertinencia respecto al tema de investigación. Finalmente, se analizaron los textos completos de los estudios seleccionados, incorporando únicamente aquellos que abordaban de manera directa la transformación digital, la Industria 4.0 y la optimización de sistemas productivos.

Tabla 1. Estudios analizados en la revisión sistemática sobre Transformación Digital, Industria 4.0 y Tecnologías Habilitadoras en Sistemas Productivos (parte 1 de 2)

Autor(es)	Año	Tecnología / Tema	Objetivo del estudio	Principales hallazgos
Vial	2019	Transformación Digital	Revisar la evolución conceptual de la transformación digital y proponer una agenda de investigación.	La transformación digital es un proceso organizacional integral que modifica la creación de valor mediante tecnologías digitales.
Verhoef et al.	2021	Transformación Digital	Analizar la transformación digital desde una perspectiva multidisciplinaria.	La transformación digital implica cambios en estrategias, estructuras organizacionales, capacidades y modelos de negocio.
Warner y Wäger	2019	Capacidades Dinámicas	Identificar capacidades organizacionales necesarias para la transformación digital.	El éxito depende de la capacidad de adaptación estratégica y renovación continua de la organización.
Frank, Dalenogare y Ayala	2019	Industria 4.0	Analizar patrones de adopción tecnológica en empresas manufactureras.	Las empresas implementan tecnologías de Industria 4.0 de manera gradual y combinada para maximizar beneficios operativos.
Culot et al.	2020	Industria 4.0	Examinar las definiciones existentes de Industria 4.0.	No existe una definición única; sin embargo, todas coinciden en la integración digital de procesos productivos.
Ghobakhloo	2020	Industria 4.0 y Sostenibilidad	Analizar la relación entre digitalización y sostenibilidad industrial.	La Industria 4.0 puede mejorar simultáneamente productividad, sostenibilidad y competitividad.
Lu, Morris y Frechette	2020	IoT y Manufactura Inteligente	Estudiar estándares para manufactura inteligente.	La interoperabilidad es fundamental para integrar dispositivos IoT y sistemas productivos.
Mourtzis, Angelopoulos y Panopoulos	2022	Internet de las Cosas (IoT)	Analizar aplicaciones del IoT en manufactura inteligente.	Los sensores conectados permiten monitoreo en tiempo real y mantenimiento predictivo.
Wamba et al.	2020	Big Data Analytics	Evaluar el impacto de Big Data en el desempeño organizacional.	La analítica de datos mejora la toma de decisiones y el rendimiento empresarial.
Mikalef et al.	2020	Big Data Analytics	Analizar capacidades analíticas y ventajas competitivas.	Las organizaciones con mayores capacidades analíticas presentan mejor desempeño operativo.
Dwivedi et al.	2021	Inteligencia Artificial	Revisar aplicaciones multidisciplinarias de la IA.	La IA transforma procesos organizacionales mediante automatización y análisis predictivo.
Sharma, Mithas y Kankanhalli	2022	Inteligencia Artificial	Estudiar el uso de IA en la toma de decisiones.	La IA mejora la calidad y velocidad de las decisiones estratégicas y operativas.
Monostori et al.	2020	Sistemas Ciberfísicos	Analizar el papel de los sistemas ciberfísicos en manufactura.	Constituyen la base tecnológica para la integración inteligente de procesos productivos.
Mittal et al.	2020	Manufactura Inteligente	Revisar arquitecturas de manufactura inteligente.	La integración de tecnologías digitales permite sistemas productivos más flexibles y adaptables.
Jamwal et al.	2021	Industria 4.0 y Sostenibilidad	Realizar una revisión sistemática sobre tecnologías de Industria 4.0.	Las tecnologías digitales favorecen la sostenibilidad mediante reducción de desperdicios y optimización de recursos.
Page et al.	2021	Metodología PRISMA	Actualizar las directrices para la elaboración y reporte de revisiones sistemáticas.	El estándar PRISMA 2020 incrementa la transparencia, reproducibilidad y calidad metodológica de las revisiones científicas.
Snyder	2019	Metodología de revisión de literatura	Proponer lineamientos para la realización de revisiones de literatura en ciencias sociales y administrativas.	Las revisiones sistemáticas permiten identificar tendencias, vacíos y oportunidades de investigación futura.
Kraus et al.	2022	Transformación Digital y Gestión Empresarial	Analizar el estado actual de la investigación sobre transformación digital en organizaciones.	La transformación digital requiere integrar capacidades tecnológicas, estratégicas y organizacionales para generar ventajas competitivas sostenibles.
Hashem et al.	2020	Cloud Computing y Big Data	Examinar la integración entre computación en la nube y procesamiento masivo de datos.	La nube proporciona escalabilidad y eficiencia para gestionar grandes volúmenes de información industrial.
Mell y Grance	2021	Cloud Computing	Definir el modelo conceptual de computación en la nube según el NIST.	La computación en la nube permite acceso ubicuo y flexible a recursos tecnológicos bajo demanda.

Tabla 1 (cont.). Estudios analizados en la revisión sistemática sobre Transformación Digital, Industria 4.0 y Tecnologías Habilitadoras en Sistemas Productivos (parte 2 de 2)

Autor(es)	Año	Tecnología / Tema	Objetivo del estudio	Principales hallazgos
Mell y Grance	2021	Cloud Computing	Definir el modelo conceptual de computación en la nube según el NIST.	La computación en la nube permite acceso ubicuo y flexible a recursos tecnológicos bajo demanda.
Zamora-Iribarren et al.	2024	Madurez Digital e Industria 4.0	Revisar instrumentos para evaluar la madurez digital de organizaciones industriales.	La adopción tecnológica debe acompañarse de capacidades organizacionales y métricas de evaluación específicas.
Grover et al.	2020	Big Data y Valor Estratégico	Proponer un marco conceptual para la generación de valor mediante analítica de datos.	El valor competitivo surge de transformar datos en conocimiento útil para la toma de decisiones.
Javaid et al.	2021	Tecnologías de Industria 4.0	Analizar las capacidades y aplicaciones de las tecnologías digitales en manufactura.	La interoperabilidad y automatización inteligente favorecen la flexibilidad y eficiencia de los sistemas productivos.

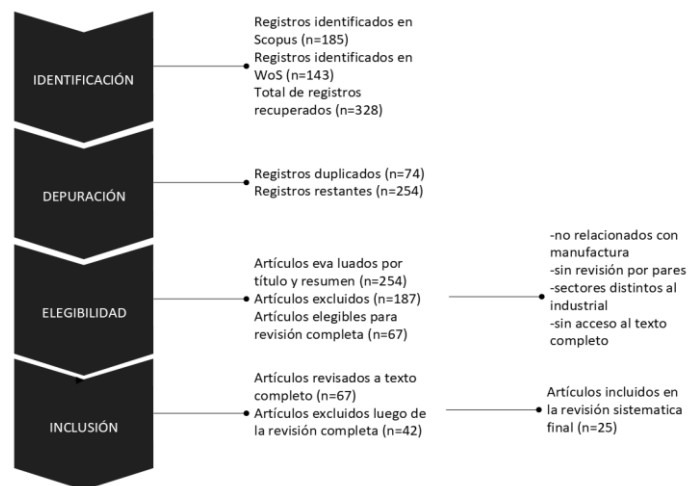


Fig. 1. Diagrama PRISMA del proceso de selección de artículos

La Figura 1 presenta el diagrama PRISMA utilizado para documentar el proceso de selección de la literatura científica considerada en esta investigación.

Esta clasificación permitió organizar la evidencia científica y establecer relaciones entre los conceptos centrales del estudio.

6.9. Categorías de análisis

Los artículos seleccionados fueron clasificados en cinco categorías:

1. Conceptualización de transformación digital.
2. Industria 4.0 y manufactura inteligente.
3. Tecnologías habilitadoras.
4. Beneficios y desafíos de implementación.
5. Optimización de sistemas productivos.

7. Resultados y discusión

La revisión sistemática permitió identificar que la transformación digital se ha consolidado como una estrategia relevante para la mejora de los sistemas productivos, particularmente dentro del marco de la Industria 4.0. La literatura muestra que las organizaciones manufactureras están adoptando tecnologías digitales para mejorar la eficiencia operativa, incrementar la productividad,

reducir costos, optimizar recursos y fortalecer la toma de decisiones basada en datos.

7.1. Transformación digital como proceso estratégico

Con el propósito de sintetizar la evidencia científica identificada durante la revisión sistemática, la Tabla 1 presenta los principales estudios analizados, destacando las tecnologías abordadas y los hallazgos más relevantes relacionados con la transformación digital y la optimización de sistemas productivos.

Los resultados muestran una convergencia significativa entre los autores respecto a la importancia de las tecnologías digitales como habilitadoras de nuevos modelos de manufactura inteligente. Asimismo, se observa que la adopción conjunta de tecnologías como IoT, Big Data, Inteligencia Artificial y sistemas ciberfísicos genera mejoras sustanciales en productividad, eficiencia operativa y sostenibilidad organizacional.

Los estudios revisados coinciden en que la transformación digital no debe entenderse únicamente como incorporación de tecnología. Vial (2019) señala que se trata de un proceso mediante el cual las tecnologías digitales generan cambios significativos en la creación de valor organizacional. De forma similar, Verhoef et al. (2021) destacan que la transformación digital implica cambios en estructuras organizacionales, modelos de negocio, capacidades internas y métricas de desempeño.

Esto permite afirmar que, en el contexto manufacturero, la transformación digital debe analizarse como un fenómeno estratégico y sistémico. La adopción de tecnologías digitales aisladas no garantiza mejoras en los sistemas productivos si no existe alineación con los objetivos organizacionales, capacitación del personal y rediseño de procesos.

7.2. Industria 4.0 como marco operativo de la transformación digital

La evidencia analizada confirma que la Industria 4.0 constituye el principal marco conceptual para la implementación de la transformación digital en los sistemas productivos.

Sin embargo, los autores difieren en la naturaleza de los beneficios esperados y en el alcance estratégico de dicho paradigma.

Frank, Dalenogare y Ayala (2019) identifican patrones de adopción tecnológica orientados principalmente a incrementar la productividad, flexibilidad y eficiencia operativa de las organizaciones manufactureras. Desde esta perspectiva, la Industria 4.0 se concibe como un mecanismo para optimizar procesos mediante la integración progresiva de tecnologías digitales.

En contraste, Ghobakhloo (2020) propone una visión más amplia, argumentando que la digitalización industrial no solo genera mejoras económicas, sino también impactos positivos en sostenibilidad, resiliencia organizacional y competitividad de largo plazo. Esta diferencia evidencia una evolución conceptual desde enfoques centrados en automatización hacia modelos orientados a la creación de valor sostenible.

Asimismo, Culot et al. (2020) señalan que la ausencia de una definición universal de Industria 4.0 ha provocado múltiples interpretaciones en la literatura científica. No obstante, existe consenso en que la interoperabilidad, la conectividad y el análisis de datos constituyen los elementos centrales del paradigma.

Los resultados de la revisión sugieren que la Industria 4.0 debe entenderse como la materialización operativa de la transformación digital en los sistemas productivos, integrando objetivos de eficiencia, sostenibilidad y adaptación estratégica.

7.3. Tecnologías habilitadoras con mayor presencia en la literatura

La revisión sistemática permitió identificar que Internet de las Cosas (IoT), Big Data, Inteligencia Artificial, Cloud Computing y sistemas ERP/MES constituyen las tecnologías con mayor presencia en la literatura reciente. Sin embargo, los enfoques adoptados por los investigadores presentan diferencias relevantes respecto a su función dentro de los sistemas productivos.

En el caso del Internet de las Cosas, Lu, Morris y Frechette (2020) enfatizan la interoperabilidad y la normalización tecnológica como condiciones indispensables para el desarrollo de ecosistemas

manufactureros inteligentes. Por el contrario, Mourtzis, Angelopoulos y Panopoulos (2022) centran su análisis en las aplicaciones operativas del IoT, particularmente en el monitoreo en tiempo real y el mantenimiento predictivo. Esta diferencia sugiere que la literatura aborda el IoT tanto desde una perspectiva arquitectónica como funcional.

Respecto a Big Data Analytics, Wamba et al. (2020) sostienen que las capacidades analíticas generan ventajas competitivas al fortalecer la capacidad de respuesta organizacional. Mikalef et al. (2020), por su parte, destacan la relación entre capacidades analíticas y desempeño empresarial, enfatizando la importancia del capital humano y la infraestructura tecnológica. En contraste, Grover et al. (2020) argumentan que la disponibilidad masiva de datos no constituye por sí misma una ventaja competitiva, sino que el valor estratégico emerge únicamente cuando los datos son transformados en conocimiento útil para la toma de decisiones.

En relación con la Inteligencia Artificial, Dwivedi et al. (2021) destacan su potencial transformador desde una perspectiva multidisciplinaria, incorporando dimensiones tecnológicas, sociales y organizacionales. Sharma, Mithas y Kankanhalli (2022), en cambio, analizan específicamente el impacto de la IA sobre la calidad y velocidad de la toma de decisiones. Ambos enfoques coinciden en reconocer la IA como un mecanismo fundamental para convertir información operacional en inteligencia organizacional.

Finalmente, Monostori et al. (2020) y Mittal et al. (2020) coinciden en que los sistemas ERP y MES constituyen plataformas esenciales para la integración entre niveles estratégicos y operativos. Sin embargo, mientras Monostori et al. enfatizan la interacción entre sistemas ciberfísicos y manufactura inteligente, Mittal et al. centran su atención en la capacidad de estas plataformas para soportar arquitecturas de producción flexibles y adaptativas.

7.4. Beneficios reportados por la literatura científica

La evidencia analizada revela una amplia convergencia respecto a los beneficios derivados de la transformación digital en sistemas

productivos, aunque los autores priorizan diferentes dimensiones de desempeño.

Frank et al. (2019) destacan mejoras en productividad, flexibilidad y eficiencia operativa como principales resultados de la adopción tecnológica. Esta visión coincide con los hallazgos de Mikalef et al. (2020), quienes identifican una relación positiva entre capacidades analíticas y desempeño organizacional.

No obstante, Ghobakhloo (2020) amplía esta perspectiva al incorporar beneficios relacionados con sostenibilidad y resiliencia empresarial. Desde este enfoque, la transformación digital deja de ser únicamente un mecanismo de reducción de costos para convertirse en una estrategia integral de creación de valor.

Por otra parte, Jamwal et al. (2021) subrayan que las tecnologías de Industria 4.0 favorecen la reducción de desperdicios, la eficiencia energética y la optimización del uso de recursos. Estos hallazgos permiten establecer una conexión directa entre transformación digital y manufactura sostenible.

Los resultados sugieren que los beneficios organizacionales dependen de la capacidad de integrar tecnologías digitales con procesos de aprendizaje organizacional, gestión del cambio y desarrollo de competencias analíticas.

7.5. Desafíos y barreras para la implementación

A pesar de los beneficios identificados, la literatura evidencia importantes barreras para la implementación efectiva de iniciativas de transformación digital.

Warner y Wäger (2019) consideran que el principal desafío radica en el desarrollo de capacidades dinámicas que permitan gestionar procesos continuos de adaptación tecnológica. Desde esta perspectiva, la resistencia al cambio y la falta de liderazgo estratégico constituyen obstáculos fundamentales.

Por su parte, Verhoef et al. (2021) sostienen que muchas organizaciones concentran sus esfuerzos en la adquisición de tecnologías, subestimando la importancia de la transformación cultural y la gestión del capital humano. Esta interpretación coincide con Kraus et al. (2022), quienes identifican la escasez de competencias

digitales como una de las principales limitaciones para la consolidación de procesos de transformación digital.

Desde una perspectiva tecnológica, Culot et al. (2020) destacan los elevados costos de implementación y la falta de estándares homogéneos como barreras significativas, particularmente en pequeñas y medianas empresas. Asimismo, Monostori et al. (2020) señalan que la interoperabilidad entre sistemas heredados y nuevas plataformas digitales continúa representando uno de los desafíos más complejos dentro de la manufactura inteligente.

La convergencia de estos resultados indica que el éxito de la transformación digital depende tanto de factores tecnológicos como organizacionales, requiriendo estrategias integrales que combinen inversión en infraestructura, capacitación y liderazgo institucional.

7.6. Tendencias emergentes y vacíos de investigación

La revisión sistemática permitió identificar una evolución progresiva desde enfoques orientados exclusivamente a productividad hacia modelos centrados en sostenibilidad, resiliencia y bienestar humano.

Ghobakhloo et al. (2024) argumentan que la transición hacia la Industria 5.0 incorpora dimensiones relacionadas con la sostenibilidad ambiental, la resiliencia organizacional y la colaboración humano-máquina. Esta evolución representa una ampliación significativa respecto a los objetivos tradicionales de la Industria 4.0.

De manera complementaria, Zamora-Iribarren et al. (2024) evidencian un creciente interés por desarrollar instrumentos que permitan evaluar la madurez digital de las organizaciones manufactureras, reconociendo que la adopción tecnológica debe acompañarse de capacidades organizacionales específicas.

No obstante, persisten importantes vacíos de investigación. La mayoría de los estudios se concentran en grandes corporaciones industriales, existiendo escasa evidencia empírica sobre pequeñas y medianas empresas manufactureras en economías emergentes. Asimismo, la integración entre sistemas ERP/MES

y modelos avanzados de analítica predictiva continúa siendo un área insuficientemente explorada.

Estos hallazgos justifican el desarrollo del segundo artículo de esta línea de investigación, orientado a responder la pregunta: ¿cómo pueden aprovecharse los datos generados por los sistemas productivos digitalizados para mejorar la productividad mediante técnicas avanzadas de analítica de datos?

7.7. Vacíos de investigación y conexión con la analítica de datos

A pesar del crecimiento acelerado de la literatura sobre transformación digital e Industria 4.0, la revisión sistemática permitió identificar importantes vacíos de investigación relacionados con el aprovechamiento estratégico de los datos generados por los sistemas productivos.

Grover et al. (2020) argumentan que la generación masiva de información no constituye una ventaja competitiva por sí misma, sino que el verdadero valor organizacional emerge cuando los datos son transformados en conocimiento útil para la toma de decisiones. Esta perspectiva coincide con los hallazgos de Mikalef et al. (2020), quienes destacan que las capacidades analíticas representan un recurso estratégico más relevante que la propia infraestructura tecnológica.

Sin embargo, la mayoría de los estudios analizados se concentran en tecnologías generadoras de datos, como IoT, sistemas ciberfísicos y plataformas ERP/MES, mientras que existe una menor atención hacia metodologías específicas de analítica avanzada aplicadas a la mejora de la productividad industrial. Esta situación evidencia una brecha entre la disponibilidad de información y su utilización efectiva para optimizar procesos productivos.

Asimismo, Ghobakhloo et al. (2024) señalan que la evolución hacia la Industria 5.0 demandará capacidades analíticas más sofisticadas, capaces de integrar objetivos de productividad, sostenibilidad y bienestar humano. No obstante, persiste una limitada evidencia empírica sobre la aplicación de modelos predictivos y herramientas de inteligencia de negocios en pequeñas y medianas empresas manufactureras, particularmente en economías emergentes.

Otro vacío identificado corresponde a la integración entre sistemas ERP/MES y plataformas avanzadas de analítica de datos. Monostori et al. (2020) y Mittal et al. (2020) reconocen la importancia de estas arquitecturas integradas, pero la literatura todavía ofrece pocos modelos metodológicos que permitan convertir la información operacional en mejoras cuantificables de desempeño.

En consecuencia, el presente artículo responde a la pregunta fundamental: ¿qué es la transformación digital y cómo contribuye a la optimización de los sistemas productivos? Sin embargo, permanece abierta una interrogante igualmente relevante: ¿cómo pueden aprovecharse los datos generados por estos sistemas para incrementar la productividad mediante técnicas de analítica de datos?

Este vacío de investigación justifica el desarrollo del segundo artículo de la presente línea de investigación, titulado *Analítica de Datos para la Mejora de la Productividad en Sistemas de Manufactura*, cuyo objetivo será proponer modelos, herramientas y metodologías orientadas a transformar información industrial en conocimiento estratégico para la toma de decisiones y la mejora continua.

8. Conclusiones

La transformación digital representa una estrategia fundamental para la evolución de los sistemas productivos modernos.

La integración de tecnologías como IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, Cloud Computing y sistemas ERP/MES permite mejorar la eficiencia operativa, fortalecer la toma de decisiones y aumentar la competitividad organizacional.

La evidencia analizada confirma que la Industria 4.0 constituye el principal marco de referencia para la implementación de iniciativas de transformación digital en entornos industriales.

No obstante, el éxito de estos procesos depende de factores tecnológicos, organizacionales y humanos que deben gestionarse de manera integral.

9. Trabajos futuros

La transformación digital genera grandes volúmenes de datos provenientes de sensores, sistemas de producción y plataformas empresariales. Sin embargo, la simple disponibilidad de datos no garantiza mejoras en el desempeño organizacional.

Como continuación de esta línea de investigación, se propone analizar cómo la analítica de datos puede transformar la información generada por los sistemas digitalizados en conocimiento útil para apoyar la toma de decisiones y mejorar la productividad industrial.

En este contexto, el siguiente estudio, denominado "Analítica de Datos para la Mejora de la Productividad en Sistemas de Manufactura", abordará métodos, herramientas y modelos analíticos orientados a convertir datos operacionales en ventajas competitivas para las organizaciones industriales.

Referencias

1. **Vial, G. (2019).** Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, Vol. 28, No. 2, pp. 118–144. DOI: 10.1016/j.jsis.2019.01.003.
2. **Verhoef, P.C., Broekhuizen, T., Bart, Y. (2021).** Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda. *Journal of Business Research*, Vol. 122, pp. 889–901. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.09.022.
3. **Warner, K.S.R., Wäger, M. (2019).** Building Dynamic Capabilities for Digital Transformation: An Ongoing Process of Strategic Renewal. *Long Range Planning*, Vol. 52, No. 3, pp. 326–349. DOI: 10.1016/j.lrp.2018.12.001.
4. **Kraus, S., Durst, S., Ferreira, J.J. (2022).** Digital Transformation in Business and Management Research: An Overview of the Current Status Quo. *International Journal of*

- Information Management, Vol. 63, pp. 102–466.
5. **Frank, A.G., Dalenogare, L.S., Ayala, N.F. (2019).** Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies. *International Journal of Production Economics*, Vol. 210, pp. 15–26. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.
 6. **Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G. (2020).** Behind the Definition of Industry 4.0: Analysis and Open Questions. *Computers in Industry*, Vol. 120, pp. 103–245. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103245.
 7. **Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P. (2021).** Substantial Capabilities of Industry 4.0 Technologies and Their Applications. *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, Vol. 49, No. 3, pp. 430–447.
 8. **Ghobakhloo, M. (2020).** Industry 4.0, Digitization, and Opportunities for Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 252, pp. 119–869. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119869.
 9. **Lu, Y., Morris, K.C., Frechette, S. (2020).** Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems. *National Institute of Standards and Technology (NIST) Report*.
 10. **Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N. (2022).** IoT-Enabled Smart Manufacturing Systems: A Review and Framework. *Procedia CIRP*, Vol. 104, pp. 1364–1369. DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.229.
 11. **Wamba, S.F., Gunasekaran, A., Akter, S. (2020).** Big Data Analytics and Firm Performance: Effects of Dynamic Capabilities. *Journal of Business Research*, Vol. 70, pp. 356–365. DOI: 10.1016/j.jbusres.2016.08.009.
 12. **Mikalef, P., Krogstie, J., Pappas, I.O. (2020).** Investigating the Effects of Big Data Analytics Capabilities on Firm Performance. *Information & Management*, Vol. 57, No. 2, pp. 103–169.
 13. **Grover, V., Chiang, R.H.L., Liang, T.-P. (2020).** Creating Strategic Business Value from Big Data Analytics: A Research Framework. *Journal of Management Information Systems*, Vol. 35, No. 2, pp. 388–423. DOI: 10.1080/07421222.2018.1451951.
 14. **Mell, P., Grance, T. (2021).** The NIST Definition of Cloud Computing (Special Publication 800-145). *National Institute of Standards and Technology*.
 15. **Hashem, I.A.T., Yaqoob, I., Anuar, N.B. (2020).** The Rise of Big Data on Cloud Computing: Review and Open Research Issues. *Information Systems*, Vol. 47, pp. 98–115. DOI: 10.1016/j.is.2014.07.006.
 16. **Dwivedi, Y.K., Hughes, L., Ismagilova, E. (2021).** Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary Perspectives on Emerging Challenges, Opportunities, and Agenda for Research. *International Journal of Information Management*, Vol. 57, pp. 101–994. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002.
 17. **Sharma, R., Mithas, S., Kankanhalli, A. (2022).** Transforming Decision-Making with Artificial Intelligence. *MIS Quarterly Executive*, Vol. 21, No. 2, pp. 105–121.
 18. **Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T. (2020).** Cyber-Physical Systems in Manufacturing. *CIRP Annals*, Vol. 65, No. 2, pp. 621–641. DOI: 10.1016/j.cirp.2016.06.005.
 19. **Mittal, S., Khan, M.A., Romero, D. (2020).** Smart Manufacturing Systems: State of the Art and Future Trends. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 49, pp. 194–214. DOI: 10.1016/j.jmsy.2018.10.006.
 20. **Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M. (2021).** The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *BMJ*, Vol. 372, pp. 71. DOI: 10.1136/bmj.n71.
 21. **Snyder, H. (2019).** Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. *Journal of Business Research*, Vol. 104, pp. 333–339. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
 22. **Jamwal, A., Agrawal, R., Sharma, M. (2021).** Industry 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing Processes: A Systematic Review. *Journal of Cleaner Production*, Vol.

281, pp. 125013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125013.

- 23. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Mubarak, M.F. (2024).** Digital Manufacturing and Industry 5.0: A Pathway toward Human-Centric, Sustainable and Resilient Production Systems. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 198, pp. 123015.

- 24. Zamora-Iribarren, N., Pérez-Castillo, R., Fernández-Llorca, D. (2024).** Digital Maturity and Industry 4.0 Assessment Instruments: A Systematic Review. *Sustainability*, Vol. 16, No. 3, pp. 1125. DOI: 10.3390/su16031125.

Article received on 06/12/2025; accepted on 16/01/2026.
**Corresponding author is Ma. del Consuelo Argüelles Arellano.*