

**Article information**

Received: 25/10/2024

Accepted: 02/12/2024

Published: 09/12/2024

DOI: <https://doi.org/10.56183/iberoecb.v4i2.31>

JEL: L60, L63, L80

Peer Reviewed

**Gary Fabricio Soriano Morales**

gsorianom2@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-0085-983X>

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Sistemas de producción flexibles basados en la industria 4.0 para la manufactura personalizada

Flexible production systems based on industry 4.0 for customized manufacturing

RESUMEN:

Mundialmente, los mercados le están haciendo frente a un incremento de las perspectivas de los consumidores hacia la excelencia en los productos, adecuándolos a sus necesidades, el objetivo de la presente investigación es analizar el diseño e implementación de sistemas de producción flexibles basados en la Industria 4.0, dicho objetivo unido a la metodología diseñada permite mostrar como resultados que los niveles de madurez digital y sus características tecnológicas aportan claros argumentos para la comprensión de las diferentes etapas por las que transita una empresa hacia la Industria 4.0, el trabajo enfatiza en la significación de una estrategia creciente hacia la digitalización y una visión de futuro bien fundamentada, también se muestra un estado comparativo entre cuatro tecnologías esenciales en la Industria 4.0, valorando su costo inicial y el tiempo requerido para hacer retornar la inversión, este análisis aporta un sustento para adoptar decisiones priorizando y asumir nuevas tecnologías, tomando en cuenta tanto la inversión inicial como la urgencia con la que se rescatan los costos, también se muestra que la elección de la tecnología adecuada dependerá de los objetivos específicos de cada empresa, su presupuesto y su capacidad para esperar los resultados, tecnologías como la impresión 3D ofrecen beneficios inmediatos con inversiones bajas. Se concluye que identificar tecnologías clave y enfoques estratégicos facilita la implementación de sistemas de producción que den respuestas a las exigencias actuales de personalización masiva, las tecnologías claves se ubican como facilitadores importantes para la flexibilizar y la personalización de la manufactura.

Palabras clave: Industria 4.0, Producción flexible, Manufactura personalizada, Tecnologías claves y Digitalización.

Implicaciones y originalidad: La investigación destaca la importancia de adoptar tecnologías clave en la Industria 4.0 para lograr producción flexible y personalizada, brindando un enfoque estratégico que mejora la competitividad y sostenibilidad empresarial.

ASBTRACT:

Worldwide, markets are facing an increase in consumer perspectives towards excellence in products, adapting them to their needs, the objective of this research is to analyze the design and implementation of flexible production systems based on Industry 4.0, this objective together with the designed methodology allows to show as results that the levels of digital maturity and their technological characteristics provide clear arguments for understanding the different stages through which a company goes towards Industry 4.0, the work emphasizes the significance of a growing strategy towards digitalization and a well-founded vision of the future, a comparative status is also shown between four essential technologies in Industry 4.0, assessing their initial cost and the time required to return the investment, this analysis provides support for making decisions prioritizing and assuming new technologies, taking into account both the initial investment and the urgency with which costs are recovered, it also shows that the choice of the appropriate technology will depend on the specific objectives of each company, its budget and its ability to wait for results, technologies such as 3D printing offers immediate benefits with low investments. It is concluded that identifying key technologies and strategic approaches facilitates the implementation of production systems that respond to the current demands of mass customization, key technologies are positioned as important facilitators for the flexibility and customization of manufacturing.

Keywords: Industry 4.0, Flexible production, Customized manufacturing, Key technologies and Digitalization.

Implications and originality: The research highlights the importance of adopting key technologies in Industry 4.0 to achieve flexible and customized production, providing a strategic approach that enhances business competitiveness and sustainability.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de un entorno empresarial global altamente dinámico, la transformación digital ha emergido como un factor clave en la competitividad de las organizaciones, la Industria 4.0, impulsada por tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el análisis de big data, está remodelando la manera en que las empresas producen y entregan bienes y servicios, este paradigma está permitiendo la transición hacia sistemas de producción flexibles que responden a la creciente demanda de personalización de los consumidores, conocida como manufactura personalizada.

Mundialmente, los mercados le están haciendo frente a un incremento de las perspectivas de los consumidores hacia la excelencia en los productos, adecuándolos a sus necesidades, según el World Economic Forum (WEF), el 63 por ciento de los consumidores globales valoran la personalización en sus compras, lo que ejerce presión sobre los fabricantes para adoptar modelos más ágiles y centrados en el cliente (WEF, 2021). Además, el Banco Mundial señala que las inversiones en tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 podrían aumentar la productividad global en un 30% durante la próxima década (Banco Mundial, 2022)

En América Latina, aunque el ritmo de adopción es más lento, países como México y Brasil han incrementado sus inversiones en tecnologías digitales un 25 por ciento anual en los últimos cinco años, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) sin embargo, esta revolución también plantea retos significativos, como la necesidad de adaptar las cadenas de suministro a un modelo más flexible y sostenible.

A nivel organizacional, los sistemas de producción flexibles ofrecen ventajas competitivas cruciales, incluyendo la reducción de costos operativos y el aumento de la satisfacción del cliente, según un estudio de McKinsey & Company (2023), las empresas que implementan tecnologías de la Industria 4.0 pueden reducir hasta un 50 por ciento los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia operativa en un 40 por ciento. Sin embargo, también se enfrentan a desafíos internos, como la necesidad de desarrollar competencias digitales en su fuerza laboral y reconfigurar sus infraestructuras para integrar tecnologías emergentes.

El objetivo de esta investigación es analizar el diseño e implementación de sistemas de producción flexibles basados en la Industria 4.0 para habilitar manufactura personalizada, en particular, se busca identificar las tecnologías clave, los factores de éxito y los retos asociados con esta transición en el contexto de empresas manufactureras, este estudio se centrará en el análisis de sistemas de producción en sectores altamente impactados por la personalización, evaluando casos de estudio y marcos conceptuales que permitan extrapolar buenas prácticas, también se integrará una perspectiva regional, contrastando las capacidades y desafíos entre países desarrollados y en desarrollo, con énfasis en América Latina.

MÉTODOS

Para el cumplimiento del objetivo planteado se realizó una revisión bibliográfica mediante la cual se resumió, examinó, compendió y discutió toda la información divulgada en cuanto a seguridad industrial y la resistencia al cambio en las organizaciones, la que finalizó en un examen crítico del estado del arte obtenidos en la bibliografía, el método que se empleó fue la revisión documental, mediante el cual se identificó el tratamiento de los hallazgos en la literatura existente, sus autores y los debates creados al respecto. El tratamiento del problema planteado se sustenta en varias teorías y enfoques que subrayan la importancia de los sistemas de producción flexibles basados en la industria 4.0. A continuación, se detallan las principales teorías relevantes para este estudio:

Teoría de la Producción Flexible.

La teoría de la producción flexible plantea que los sistemas de manufactura deben ajustarse rápidamente a los cambios y transformaciones de los productos y en los volúmenes elevados de producción, disminuyendo los costos vinculados a la variabilidad, según Slack et al (2020) los sistemas de producción flexible tienen como característica la combinación de cibernética y diseño modular, lo que facilita el cambio entre diversos productos sin tener que hacer interrupciones significativas en el proceso, esta teoría encuentra un fuerte respaldo en la articulación de tecnologías de avanzada como la automatización, a cibernética y los sistemas ciberfísicos.

Teoría de los Sistemas Sociotécnicos:

Desarrollada inicialmente por Trist y Bamforth (1951), esta teoría enfatiza la necesidad de integrar las dimensiones técnica y social de los sistemas de trabajo para maximizar el rendimiento organizacional, en el marco de los sistemas de producción basados en la Industria 4.0, esta teoría subraya la importancia de considerar tanto las capacidades tecnológicas como el desarrollo de habilidades en la fuerza laboral, investigaciones recientes, como las de Hermann et al (2016), destacan que el éxito de la manufactura personalizada depende de una sinergia entre tecnología avanzada y competencias humanas, lo que promueve una colaboración efectiva en un entorno altamente automatizado.

Teoría de los Sistemas Ciberfísicos:

La teoría de los sistemas ciberfísicos se centra en la integración de componentes físicos y digitales para crear sistemas inteligentes y autónomos (Lee et al., 2015) en el ámbito de la manufactura personalizada, esta teoría provee el marco conceptual para entender cómo la interconexión entre sensores, máquinas y software permite una producción ágil y personalizada, por ejemplo, el uso de gemelos digitales, una aplicación práctica de esta teoría, facilita el modelado y ajuste de los procesos productivos en tiempo real, reduciendo errores y mejorando la calidad del producto.

Teoría de la Personalización Masiva:

Inicialmente fue propuesta por Pine (1993), sustenta que las empresas combinan las mejoras de la producción masiva con la personalización, a través del uso de tecnologías y procesos que permiten la elaboración de productos atendiendo a los gustos y preferencias de los consumidores sin poner en riesgo la eficiencia, en el contexto de la Industria 4.0, esta teoría se ve fortalecida por la capacidad de las fábricas inteligentes para capturar datos de los consumidores, procesarlos mediante análisis avanzados y adaptar las líneas de producción en tiempo real. El uso de impresión 3D y sistemas de manufactura aditiva, como se discute en investigaciones recientes de Gilchrist (2016), ejemplifica cómo esta teoría se materializa en la práctica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una breve revisión del estado del arte

El estudio titulado, Implementación de sistemas de manufactura flexible en la Industria 4.0 en México, llevado a cabo por el grupo de Investigación en Sistemas Inteligentes de la facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México (2018) muestra como principales hallazgos cómo la manufactura flexible y tecnologías como la impresión 3D y la robótica están generando cambios sustanciales en los procesos de producción de las industrias mexicanas, en el trabajo se destaca la integración de sistemas ciberfísicos y software de ejecución de manufactura para personalizar productos y aumentar la eficiencia operativa.

El estudio, Industria 4.0 y personalización en Colombia: Un enfoque hacia la sostenibilidad, desarrollado en Colombia muestra cómo las empresas manufactureras están usando sistemas flexibles para personalizar productos mientras buscan sostenibilidad en sus operaciones. Enfatiza la adopción incremental de tecnologías digitales y el alineamiento estratégico necesario para garantizar el éxito a largo plazo. (ERP, 2024)

Investigadores de la Universidad Austral en Argentina, a través del trabajo titulado Industria 4.0. Beneficios, complejidades y desafíos para la transformación productiva, evalúan el impacto de la digitalización en las pequeñas y medianas empresas en Argentina, mostrando cómo las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) están adoptando tecnologías de la Industria 4.0, incluyendo sistemas flexibles para la personalización masiva, el estudio subraya la necesidad de un cambio cultural dentro de las organizaciones, destacando las capacidades humanas como un factor clave para implementar estas tecnologías (Augspach & Pan, 2022)

El Portal ERP (2024) presentó un informe realizado en Chile titulado, Transformación digital en la manufactura chilena: retos y oportunidades, en el que se explora la adaptación de las industrias locales a tecnologías de la Industria 4.0. Se centra en las barreras culturales y técnicas, como la conectividad y los estándares de interoperabilidad, que las empresas enfrentan al implementar sistemas de manufactura flexible, análisis que es especialmente relevante para manufactura personalizada.

Tecnologías Clave e Implementación de Sistemas de Producción Flexibles Basados en la Industria 4.0 para Habilitar Manufactura Personalizada

En las circunstancias actuales la manufactura personalizada surge como una necesidad emergente en la industria reciente, en la que los consumidores finales requieren de productos que respondan a sus necesidades más urgentes sin que esto afecte la calidad en el servicio y la sostenibilidad, en este contexto, la Industria 4.0 se posiciona como el catalizador clave para transformar los sistemas de producción, integrando tecnologías avanzadas que permiten flexibilidad operativa y personalización masiva

El concepto de industria 4.0, surgido en Alemania en 2011, para hacer referencia a una política económica gubernamental basada en estrategias de alta tecnología (Roblek, Meško & Krapež, 2016) caracterizada por la automatización, la digitalización de los procesos y el uso de las tecnologías de la electrónica y de la información en la fabricación (Mosconi, 2015) de igual manera sucede con la personalización de la producción, la prestación de servicios y la creación de negocios de valor agregado y, por las capacidades de interacción y el intercambio de información entre humanos y máquinas (Cooper & James, 2009)

Partiendo de los conceptos anteriores se asume como tecnologías clave en la Industria 4.0 son aquellas herramientas y sistemas que permiten la transformación digital y la integración de procesos productivos, promoviendo la automatización, la conectividad, y la toma de decisiones basada en datos, estas tecnologías habilitan la creación de sistemas de producción inteligente, interconectada y flexible, capaz de adaptarse a los cambios en la demanda y personalizar productos a gran escala.

Principales tecnologías claves:

Internet de las Cosas (IoT): Articula diferentes dispositivos, aparatos y sistemas mediante redes digitales, facilitando la recolección de datos en tiempo real y su análisis para perfeccionar los sistemas productivos, esta tecnología es fundamental para la vigilancia permanente procesos, lo que permite la detección temprana de errores y resolver cualquier problema sin intervención humana. Según Ortega y Rojas (2021), el IoT reduce significativamente los costos de operación al maximizar la eficiencia en la manufactura.

En la visión de la industria 4.0, las máquinas serán capaces de comunicarse entre sí para recibir o transmitir información y ejecutar acciones; los productos serán inteligentes (Varghese & Tandur, 2014) ya que con el IoT, muchos sensores en red podrán estar embebidos en dispositivos y máquinas y desplegarán enormes cantidades de datos de diferentes tipos, y el cómputo en la nube proveerá las soluciones para el almacenamiento y procesamiento de estos grandes volúmenes de datos (Chen, Mao & Liu, 2014)

Sistemas Ciberfísicos (CPS): Son los sistemas ciberfísicos como la integración de componentes físicos y digitales que permiten monitorear y controlar procesos productivos de manera autónoma, en el contexto de la manufactura personalizada, los CPS son fundamentales para habilitar simulaciones en tiempo real, lo que mejora la capacidad de las empresas para adaptarse a cambios en los pedidos o a las especificaciones de los productos (Fernández & Gutiérrez, 2023) Los autores subrayan que esta tecnología es particularmente relevante en la industria latinoamericana, donde la flexibilidad y la personalización se están convirtiendo en diferenciadores competitivos clave.

Estos sistemas son capaces de monitorear los procesos físicos, crear una copia virtual del mundo real y hacer decisiones descentralizadas, por lo que se espera que brinden soluciones que permitan transformar la operación y el papel de muchos de los sistemas industriales existentes (Varghese & Tandur, 2014)

Robótica Colaborativa: La incorporación de robots capaces de trabajar junto a operadores humanos aumenta la flexibilidad de las líneas de producción, según la Federación Internacional de Robótica (2021), el 74 por ciento de las empresas que implementaron robots colaborativos reportaron una mayor capacidad para adaptarse a variaciones en los pedidos.

Impresión 3D y Manufactura Aditiva: Estas tecnologías permiten la creación de prototipos y productos personalizados directamente a partir de modelos digitales, reduciendo el tiempo de desarrollo y eliminando la necesidad de herramientas específicas (Wohlers Associates, 2023).

Inteligencia Artificial (IA) y Análisis de Datos: Los algoritmos de IA perfeccionan la adopción de decisiones correctas en tiempo real y pronostican la demanda del consumidor final, permitiendo la personalización masiva, la IA de conjunto al big data y el cómputo en la nube se convierten en facilitadores de la Industria 4.0 y junto con la automatización industrial están cambiando la forma en la que los productos se fabrican, contribuyendo al mejoramiento de la manufactura (Hermann et al, 2016).

Implementación de Sistemas de Producción Flexibles

Para que los sistemas de producción flexibles se conviertan en una realidad, es necesario considerar factores técnicos, organizativos y económicos:

Diagnóstico y Evaluación de Madurez Digital: Es un proceso que se lleva de manera ordenada y mediante el cual se va evaluando como las empresas van adoptando las tecnologías en su proceso productivo y para ello considera aspectos tales como infraestructura tecnológica, habilidades y destrezas humanas, procesos operacionales y el comportamiento de la cultura organizacional, este análisis identifica las fortalezas y debilidades en cuanto a la transformación digital, sirviendo como base para el diseño de estrategias de implementación de tecnologías de avanzada, como es la Industria 4.0.

Además, establece un marco de referencia para priorizar inversiones y alinear los objetivos de la empresa con las oportunidades tecnológicas, antes de implementar tecnologías, las empresas deben realizar un diagnóstico para identificar su nivel de madurez en la adopción de la Industria 4.0.

Tabla 1. Modelo de madurez digital

Nivel	Características	Ejemplo de Tecnologías
Inicial	Uso limitado de tecnologías digitales	Control numérico (CNC), ERP básico
Intermedio	Integración parcial de IoT y análisis de datos	Sensores IoT, análisis descriptivo
Avanzado	Sistemas totalmente interconectados	CPS, gemelos digitales
Transformador	Automatización y personalización masiva	IA, manufactura aditiva

Fuente: Adaptado de Lee et al. (2015).

La tabla anterior muestra los niveles de madurez digital y sus características tecnológicas aportando claros argumentos para la correcta comprensión de las diferentes etapas por las que transita una empresa hacia la transformación digital y la Industria 4.0, cada nivel refleja una progresión en la adopción tecnológica, desde herramientas básicas hasta tecnologías avanzadas que habilitan la personalización masiva y la automatización completa.

La tabla enfatiza en la significación de una estrategia creciente hacia la digitalización, el desarrollo entre niveles demanda inversiones en tecnología, capacitación del personal y una visión estratégica bien fundamentada, según la OECD (2022), cada paso requiere de hacerle frente a determinados retos, pero también aporta oportunidades importantes para la mejora continua de la competencia en un escenario internacional eficiente.

Capacitación del Capital Humano: La transformación digital demanda de empleados altamente capacitados en tecnologías, según un informe de la OECD (2022), el 68 por ciento de las organizaciones plantean que la resistencia al cambio y la ausencia de un plan de capacitación adecuado y oportuno son las barreras que más inciden en la implementación de estas tecnologías

Priorización de Tecnologías según ROI: El Retorno de Inversión (ROI) debe guiar la implementación de tecnologías, en la tabla 2 se muestra una comparación de tecnologías según su costo inicial y tiempo estimado para alcanzar rentabilidad.

Tabla 2. Estado comparativo de tecnologías según su costo inicial y tiempo estimado para alcanzar rentabilidad

Tecnología	Costo Inicial	Tiempo para ROI
IoT	Medio	6-12 meses
Robótica Colaborativa	Alto	12-24 meses
Impresión 3D	Bajo	3-6 meses
Inteligencia Artificial	Alto	12-24 meses

Fuente: Datos adaptados de Hermann et al. (2016).

La tabla muestra cuatro tecnologías esenciales en la Industria 4.0, valorando su costo inicial y el tiempo requerido para hacer retornar la inversión, este análisis aporta un sustento para adoptar decisiones priorizando y asumir nuevas tecnologías, tomando en cuenta tanto la inversión inicial como la urgencia con la que se rescatan los costos.

La elección de la tecnología adecuada dependerá de los objetivos específicos de cada empresa, su presupuesto y su capacidad para esperar los resultados, tecnologías como la impresión 3D ofrecen beneficios inmediatos con inversiones bajas, ideales para empresas pequeñas y medianas, en contraste, soluciones como la robótica colaborativa y la inteligencia artificial son más adecuadas para empresas grandes que buscan ventajas competitivas sostenibles, a pesar de los tiempos de recuperación más largos, este análisis subraya la necesidad de equilibrar costos iniciales con el impacto esperado en productividad y flexibilidad operativa.

La implementación de sistemas de producción flexibles apoyados en la Industria 4.0 no solo cambia la capacidad de las empresas para dar respuestas a las exigencias del mercado, sino que también promueve la sostenibilidad al perfeccionar recursos y disminuir desperdicios, no obstante, asumir estos sistemas de manera exitosa demanda una estrategia integral que articule inversión tecnológica, desarrollo humano y una visión a largo plazo, en Latinoamérica, este reto es visto como una proporción para cerrar brechas y establecerse como líder en manufactura personalizada.

CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido identificar tecnologías clave y enfoques estratégicos que faciliten la implementación de sistemas de producción que den respuestas a las exigencias actuales de personalización masiva, las tecnologías claves se ubican como facilitadoras importantes para flexibilizar y personalizar la manufactura.

Su adopción permite la integración total de procesos, desde el diseño hasta la producción, logrando no solo una mayor eficiencia, sino también una capacidad sin precedentes para adaptarse a demandas específicas del cliente. Se destaca que la impresión 3D ofrece un ROI más rápido, lo que la convierte en una opción accesible para pequeñas y medianas empresas, mientras que tecnologías como la IA requieren inversiones mayores pero prometen ventajas competitivas a largo plazo.

Los sistemas de producción flexibles apoyados en la Industria 4.0 facilitan un ponderación entre eficiencia y personalización, lo que se ve traducido en la reducción de tiempos de respuesta, minimización de costos operacionales y el incremento de la satisfacción del cliente a través de productos personalizados a gran escala, de la implementación de gemelos digitales y la analítica avanzada en tiempo real surgen aspectos esenciales alertar errores, perfeccionar recursos y garantizar una producción que se ajuste a las variaciones constantes del mercado.

Las empresas que ponen en práctica estos sistemas no solo logran mejorar e incrementar su productividad, sino que también incrementan su competencia en los mercados internacionales, esta dirección es significativamente importante para zonas como Latinoamérica, donde la adopción de la Industria 4.0 aún enfrenta desafíos, pero ofrece un potencial significativo para transformar cadenas de suministro y procesos industriales.

Una de las principales limitaciones del presente estudio radicó en que se enfocó en sectores Específicos, ya que si bien se analizaron casos en sectores como la manufactura avanzada y la automotriz, el estudio no abarcó de manera exhaustiva industrias más tradicionales, lo que limita la generalización de los resultados, otra limitación también estuvo dada en el acceso a datos y recursos, ya que la disponibilidad de información específica sobre costos y resultados de implementación fue limitada, especialmente en empresas pequeñas y medianas (PyMEs) de países en desarrollo, lo que restringió el análisis de impacto en economías emergentes, la última limitación está dada en el horizonte temporal, dado que la transformación digital es un proceso continuo, el análisis se centró en tecnologías y casos actuales, sin considerar el impacto de innovaciones emergentes como la computación cuántica o la conectividad 6G, que podrían modificar drásticamente el panorama en los próximos años.

Como resultado de la presente investigación se derivan futuras investigaciones como La adopción de tecnologías clave en PyMEs y economías emergentes, en el que se sugiere profundizar en el análisis de estrategias para facilitar la adopción de estas tecnologías en PyMEs, considerando limitaciones financieras y de infraestructura típicas de economías emergentes, otro estudio que se puede desarrollar una investigación encaminada a analizar el impacto ambiental de la manufactura personalizada, atendiendo a que la sostenibilidad es un factor clave en la industria actual, sería valioso investigar cómo estas tecnologías pueden reducir emisiones y desperdicios, alineándose con objetivos de economía circular.

El presente estudio refuerza la significación de la Industria 4.0 como un catalizador para la manufactura personalizada y la flexibilidad operativa, sin embargo, resalta la necesidad de estudiar y analizar aquellas barreras estructurales y cognitivas, para garantizar que las empresas, independientemente de su tamaño o ubicación, puedan beneficiarse plenamente de esta transformación, estudio también revela que la Industria 4.0 no solo representa una evolución tecnológica, sino también una oportunidad para rediseñar procesos productivos con un enfoque centrado en el cliente, la sostenibilidad y la competitividad global.

REFERENCIAS

- Augspach, M & Pan, L. (2022) Industria 4.0. Beneficios, complejidades y desafíos para la transformación productiva. Recuperado de: <https://www.austral.edu.ar/ingenieria-posgrados/novedades/industria-4-0-beneficios-complejidades-y-desafios-para-la-transformacion-productiva/>
- Banco Mundial (2022). Digital Development Report. Washington D.C.: Banco Mundial.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2022). La transformación digital en América Latina y el Caribe. Santiago: CEPAL
- Cooper, J. y James, A. (2009) Desafíos para la gestión de bases de datos en la Internet de las cosas. *IETE Technical Review*, volumen 26 (5): 320-329
- Chen, M., Mao, S. y Liu, Y. (2014). Big data: una encuesta. *Mobile Networks and Applications*, 19 (2), 171-209.
- ERP (2024) Transformación digital en la manufactura chilena: retos y oportunidades. Disponible en: <https://latam.portalerp.com/industria-40-transformando-la-manufactura-en-toda-america-latina>
- Fernández, A., & Gutiérrez, P. (2023). La Industria 4.0 y su impacto en la manufactura personalizada en América Latina. Universidad Nacional de Colombia.
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016) Principios de diseño para escenarios de Industria 4.0 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE (2016), pp: 3928-3937.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3(3), 18-23.
- McKinsey & Company (2023). *Industry 4.0 and the Future of Manufacturing*. Nueva York: McKinsey & Company.
- Mosconi, F. (2015). *La nueva política industrial europea: competitividad global y renacimiento de la industria manufacturera*. Londres, Inglaterra: Routledge.
- OECD. (2022). *Digital Transformation Maturity Models for SMEs*.
- Pine, B. J. (1993). *Mass Customization: The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business School Press.
- Roblek, V., Meško, M. y Krapež, A. (2016). Una visión compleja de la Industria 4.0. *SAGE Open*, 2 (6), 1-11.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2020). *Operations Management*. Pearson Education.
- Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1951). Some social and psychological consequences of the longwall method of coal-getting. *Human Relations*, 4(1), 3-38.
- UNAM (2018) Implementación de sistemas de manufactura flexible en la Industria 4.0 en México. Recuperado de: <https://masam.cuautitlan.unam.mx/dycme/smf/sistemas-de-manufactura-4-0-y-5-0/>
- Varghese, A. y Tandur, D. (2014). Requisitos y retos de las redes inalámbricas en la industria 4.0. Conferencia Internacional sobre Computación e Informática Contemporánea (IC31), IEEE, 634-638.
- Wohlers Associates (2023) El 28.º informe anual analiza en profundidad el crecimiento de la industria de fabricación aditiva (AM), con información de 10 sectores industriales. Recuperado de <https://wohlersassociates.com/product/wr2023/>
- World Economic Forum (WEF) (2021). *The Future of Manufacturing: Personalization Trends*. Ginebra: WEF.