



Lean Manufacturing e Industria 4.0: modelo de integración tecnológica para la reducción de desperdicios y mejora de la productividad industrial

Lean Manufacturing and Industry 4.0: A Technology Integration Model for Waste Reduction and Improved Industrial Productivity

Christian Anthony Lázaro Russell^{1*}  

¹*Investigador Independiente, Arequipa - Perú*

***Autor de correspondencia:** Christian Anthony Lázaro Russell 

Recibido: 20-08-2026

Revisado: 27-08-2026

Aceptado: 03-09-2026

Publicado: 10-09-2026

Cómo citar este artículo: Lázaro Russell, C. A. . (2026). Lean Manufacturing e Industria 4.0: modelo de integración tecnológica para la reducción de desperdicios y mejora de la productividad industrial. *Multidisciplinary Journal of Sciences Discoveries and Society*, 3(5), 1-13. <https://doi.org/10.63969/81wyh968>

RESUMEN

La integración de Lean Manufacturing e Industria 4.0 representa una alternativa estratégica para mejorar la eficiencia y productividad de los sistemas industriales. Lean Manufacturing contribuye mediante la identificación y eliminación de desperdicios, la optimización de recursos y la mejora continua, mientras Industria 4.0 incorpora tecnologías como Internet de las Cosas, inteligencia artificial, analítica de datos, computación en la nube, sistemas ciberfísicos y automatización avanzada. El propósito fue analizar la integración de ambos enfoques para identificar componentes tecnológicos y metodológicos orientados a reducir desperdicios y mejorar la productividad. Se desarrolló un estudio cualitativo, descriptivo y documental, estructurado conforme a PRISMA 2020 para organizar la búsqueda, selección y análisis de publicaciones científicas relacionadas con eficiencia productiva, digitalización e innovación industrial. El análisis permitió establecer que la incorporación de datos en tiempo real favorece la detección de desviaciones, anticipación de fallas, control de operaciones y toma de decisiones orientadas a la mejora. La integración de ambos enfoques requiere articular tecnología, procesos y personas para alcanzar sistemas productivos más ágiles, eficientes, adaptables y sostenibles, evitando una adopción tecnológica desvinculada de las necesidades operativas.

Palabras clave: Lean Manufacturing; Industria 4.0; reducción de desperdicios; productividad industrial; transformación digital.

ABSTRACT

The integration of Lean Manufacturing and Industry 4.0 represents a strategic approach to improving the efficiency and productivity of industrial systems. Lean Manufacturing contributes through the identification and elimination of waste, resource optimisation and continuous improvement, while Industry 4.0 incorporates technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence, data analytics, cloud computing, cyber-physical systems and advanced automation. The aim was to analyse the integration of both approaches to identify technological and methodological components focused on waste reduction and productivity improvement. A qualitative, descriptive and documentary study was conducted, structured in accordance with PRISMA 2020 to organise the search, selection and analysis of scientific publications related to production efficiency, digitalisation and industrial innovation. The analysis established that the incorporation of real-time data facilitates the detection of deviations, anticipation of failures, operational

control and improvement-oriented decision-making. Integrating both approaches requires the alignment of technology, processes and people to achieve more agile, efficient, adaptable and sustainable production systems, while avoiding technological adoption that is disconnected from operational needs.

Keywords: Lean Manufacturing; Industry 4.0; waste reduction; industrial productivity; digital transformation.

1. INTRODUCCIÓN

La transformación de los sistemas productivos ha generado la necesidad de articular metodologías orientadas a la eficiencia con tecnologías capaces de proporcionar información precisa y oportuna sobre las operaciones industriales. En este escenario, Lean Manufacturing se ha consolidado como un enfoque dirigido a eliminar actividades que no agregan valor, reducir tiempos improductivos, optimizar recursos y favorecer la mejora continua, mientras que la Industria 4.0 incorpora tecnologías como el Internet de las Cosas, inteligencia artificial, analítica de datos, computación en la nube, sistemas ciberfísicos y automatización avanzada. La integración de ambos enfoques permite superar las limitaciones de una aplicación aislada, debido a que las herramientas Lean pueden beneficiarse de datos generados en tiempo real para identificar desviaciones, anticipar fallas, controlar procesos y orientar decisiones de mejora. Bajo esta perspectiva, la convergencia entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 representa una alternativa estratégica para construir sistemas productivos más ágiles, eficientes y adaptables, especialmente ante escenarios caracterizados por una elevada competencia, variabilidad de la demanda y necesidad de incrementar la productividad sin comprometer la calidad.

Los sistemas industriales afrontan dificultades relacionadas con la presencia de desperdicios, tiempos de espera, movimientos innecesarios, sobreproducción, inventarios excesivos, defectos y utilización ineficiente de recursos. Aunque Lean Manufacturing proporciona principios y herramientas para abordar estas situaciones, su aplicación en entornos productivos con elevada complejidad puede verse limitada cuando la identificación de problemas depende principalmente de registros manuales, inspecciones periódicas o información fragmentada. Esta situación dificulta disponer de una visión continua del comportamiento de las operaciones y puede retrasar la detección de desviaciones que afectan los tiempos de producción, los costes y el cumplimiento de los estándares de calidad. La incorporación de tecnologías digitales permite ampliar las capacidades de observación y análisis, pero su implementación aislada tampoco garantiza mejoras sostenibles cuando no existe una metodología organizacional que oriente la utilización de los datos hacia la eliminación sistemática de desperdicios.

La dificultad central radica, por tanto, en establecer una integración funcional entre los principios Lean y las tecnologías de Industria 4.0 que permita transformar los datos generados por los procesos en acciones concretas de mejora. Muchas organizaciones incorporan sensores, plataformas digitales, automatización o sistemas de análisis sin vincularlos suficientemente con las prácticas de mejora continua, lo que puede producir inversiones tecnológicas con beneficios productivos inferiores a los esperados. A ello se suman barreras relacionadas con la capacitación del personal, la resistencia al cambio, la interoperabilidad de sistemas, la disponibilidad de infraestructura y la necesidad de modificar procesos organizacionales. Esta situación plantea la necesidad de analizar cómo pueden articularse ambos enfoques dentro de un modelo de integración tecnológica que permita reducir desperdicios, optimizar recursos y fortalecer la productividad industrial mediante una utilización estratégica de las capacidades digitales.

El desarrollo de Lean Manufacturing tiene sus principales antecedentes en el Sistema de Producción Toyota, cuya orientación hacia la eliminación del desperdicio, la producción ajustada y la mejora continua modificó las formas tradicionales de organizar las operaciones industriales. Su evolución permitió extender estos principios hacia diferentes sectores productivos debido a su capacidad para disminuir actividades que no generan valor y favorecer un flujo de producción más eficiente. En este proceso, Valencia et al. (2025) señala que la gestión Lean se consolidó como una estrategia orientada a mejorar el desempeño mediante la optimización de los procesos y la eliminación de actividades innecesarias. Herramientas como 5S, Kaizen, Kanban, Just in Time, Value Stream Mapping y Poka-Yoke

permitieron trasladar estos principios a contextos organizacionales diversos, convirtiendo la gestión sistemática de los procesos en un componente esencial para la productividad.

La evolución de Lean Manufacturing mostró que la reducción de desperdicios no depende exclusivamente de modificaciones técnicas, sino también de factores humanos y organizacionales. La participación de los trabajadores, la estandarización de las actividades, la identificación de causas de los problemas y la generación permanente de acciones correctivas constituyen elementos relevantes para mantener las mejoras alcanzadas. Desde esta perspectiva, Domínguez et al. (2025) identificaron múltiples prácticas Lean vinculadas con diferentes niveles de aplicación dentro del flujo de valor, destacando la necesidad de comprender estas prácticas como componentes articulados de la gestión productiva. Lean pasó así de considerarse un conjunto de herramientas operativas a comprenderse como una filosofía de gestión que requiere cambios en la cultura organizacional y en la forma de tomar decisiones dentro de los sistemas productivos.

El surgimiento de la Industria 4.0 introdujo nuevas posibilidades para incrementar la capacidad de observación, control y análisis de los procesos industriales. La incorporación de sensores conectados, sistemas ciberfísicos, Internet de las Cosas industrial, robótica colaborativa, computación en la nube y analítica avanzada permite recopilar grandes volúmenes de información procedente de máquinas y operaciones. En relación con esta transformación, Peñalver et al. (2024) destacan que las tecnologías digitales pueden incorporarse al diseño de flujos de valor Lean para ampliar las capacidades de información y gestión de los procesos productivos. Estas capacidades favorecen una gestión basada en información actualizada y permiten detectar comportamientos anómalos, establecer patrones de funcionamiento y generar respuestas más rápidas ante las variaciones del entorno productivo.

Los primeros estudios sobre la convergencia entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 señalaron que las tecnologías digitales podían fortalecer varias prácticas Lean. La disponibilidad de información en tiempo real, por ejemplo, puede mejorar la identificación de cuellos de botella y facilitar el seguimiento de indicadores relacionados con productividad, calidad y utilización de recursos. En este sentido, Hernández et al. (2025) analizaron 93 estudios e identificaron relaciones entre nueve tecnologías de Industria 4.0 y catorce prácticas Lean, encontrando diferentes niveles de sinergia entre ambas dimensiones. Del mismo modo, la automatización de determinadas tareas de recopilación y análisis puede reducir la dependencia de procedimientos manuales y acelerar la identificación de oportunidades de mejora.

La integración también ha adquirido relevancia en la gestión del mantenimiento industrial. Las tecnologías de monitorización y análisis predictivo permiten observar variables asociadas al funcionamiento de los equipos y detectar patrones que pueden anticipar determinadas condiciones de fallo. Esta capacidad se relaciona con los principios Lean debido a que la reducción de paradas no planificadas contribuye a mantener la continuidad del flujo productivo y disminuir pérdidas derivadas de tiempos improductivos, reparaciones imprevistas y utilización ineficiente de materiales y recursos. Sobre esta relación, Pérez et al. (2026) analizaron la influencia de la adopción de tecnologías de Industria 4.0 sobre la relación entre las prácticas Lean y el desempeño operacional, considerando indicadores asociados con seguridad, entregas, calidad, productividad e inventarios.

La analítica de datos constituye otro antecedente relevante para la convergencia de ambos enfoques. Mientras Lean proporciona criterios para identificar actividades sin valor y establecer prioridades de mejora, las tecnologías digitales pueden procesar información proveniente de múltiples etapas de producción para encontrar relaciones y desviaciones que no siempre son visibles mediante observaciones convencionales. Villa et al. (2020) plantearon que la incorporación de tecnologías de Industria 4.0 en los flujos de valor Lean puede favorecer una mayor disponibilidad de información y apoyar el diseño de procesos productivos más eficientes. De esta forma, el análisis de datos puede complementar las prácticas de mejora continua y proporcionar mayor precisión para determinar dónde intervenir y qué variables requieren seguimiento.

Diversos planteamientos contemporáneos también han destacado que la transformación digital de los sistemas Lean debe considerar la preparación organizacional. La incorporación de tecnologías avanzadas requiere competencias técnicas, infraestructura, conectividad, gobernanza de datos y capacidad para adaptar los procesos existentes. Fernández et al. (2021) analizaron los determinantes y barreras relacionados con la integración Lean e Industria 4.0,

destacando que su implementación involucra dimensiones operativas, sociales y ambientales, además de factores críticos para alcanzar resultados sostenibles. La ausencia de condiciones organizacionales adecuadas puede generar una digitalización fragmentada, en la que las tecnologías funcionan de manera independiente sin producir una transformación significativa del sistema productivo.

La convergencia entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 ha evolucionado hacia modelos que buscan combinar eficiencia operativa y capacidades digitales dentro de una misma estrategia de transformación. Esta perspectiva plantea que la tecnología no debe sustituir los principios Lean, sino potenciarlos mediante información de mayor calidad, automatización selectiva, monitorización continua y capacidad predictiva. Gonzalez et al. (2023) propuso un modelo de integración que relaciona la metodología Lean con diferentes niveles de integración tecnológica, mientras que investigaciones posteriores han señalado que la relación entre ambos enfoques presenta oportunidades de sinergia que todavía requieren mayor validación en escenarios industriales reales. El desafío actual consiste en definir mecanismos de integración que permitan relacionar las herramientas Lean con las tecnologías digitales de acuerdo con las necesidades específicas de cada proceso industrial, orientando la transformación hacia la reducción de desperdicios y el incremento sostenible de la productividad.

Lean Manufacturing puede comprenderse como un enfoque de gestión orientado a maximizar el valor entregado al cliente mediante la eliminación sistemática de actividades que consumen recursos sin generar valor. Su lógica se estructura alrededor de principios como la identificación del valor, el análisis del flujo de valor, la generación de flujo continuo, la producción basada en la demanda y la búsqueda permanente de perfeccionamiento. Según Maricahua (2026), este enfoque se encuentra estrechamente relacionado con la optimización de recursos, la reducción de desperdicios y la mejora continua de los procesos productivos. Bajo esta perspectiva, el desempeño industrial no se determina únicamente por la cantidad producida, sino por la capacidad de utilizar los recursos de forma eficiente, reducir pérdidas y mantener condiciones estables de operación.

Uno de los componentes centrales de Lean Manufacturing corresponde a la identificación y eliminación de desperdicios. Las pérdidas tradicionalmente asociadas al enfoque incluyen sobreproducción, espera, transporte, procesamiento innecesario, inventario, movimiento y defectos, a las que posteriormente se ha añadido el desaprovechamiento del talento humano. En este sentido, Cifuentes et al. (2025) destacan que la identificación de los desperdicios permite reconocer aquellas actividades que consumen recursos sin aportar valor al producto o servicio y establecer acciones dirigidas a disminuir sus efectos. Su identificación permite reconocer las actividades que incrementan costes o consumen recursos sin contribuir directamente al valor del producto o servicio. La reducción de estos desperdicios requiere observar el proceso de forma integral y establecer acciones orientadas a corregir sus causas.

La mejora continua constituye otro principio fundamental del enfoque Lean. Kaizen representa una orientación hacia la realización permanente de pequeñas mejoras mediante la participación de los trabajadores y el análisis sistemático de las operaciones. De acuerdo con Coronel et al. (2026), la relación entre Lean e Industria 4.0 mantiene como elemento central la capacidad de Lean para promover la mejora continua y la eliminación de desperdicios, mientras que la participación organizacional permite sostener las modificaciones introducidas en los procesos. Esta perspectiva favorece la estandarización, el seguimiento de indicadores y la solución estructurada de problemas. En consecuencia, la eficiencia no se concibe como una condición estática, sino como un proceso permanente de revisión y perfeccionamiento de las actividades productivas.

Industria 4.0

La Industria 4.0 representa una etapa de transformación de los sistemas productivos caracterizada por la incorporación de tecnologías digitales capaces de conectar máquinas, personas, procesos y datos. Internet de las Cosas Industrial, sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial, robótica, computación en la nube, big data, analítica avanzada y fabricación aditiva forman parte de un ecosistema tecnológico que permite incrementar la conectividad y automatización de las operaciones. Monsalves et al. (2025) señalan que las tecnologías asociadas con la manufactura inteligente permiten ampliar las capacidades de los sistemas productivos y abarcan aplicaciones que incluyen inteligencia artificial desde

las etapas de diseño hasta la inspección del producto final. Su principal aporte radica en generar capacidades para supervisar, analizar y modificar determinados procesos con mayor rapidez y precisión.

La generación de datos en tiempo real constituye una capacidad especialmente relevante para los sistemas industriales digitalizados. Los sensores y dispositivos conectados permiten obtener información relacionada con variables de producción, estado de los equipos, consumo energético, calidad y comportamiento de las operaciones. En relación con esta capacidad, Rodríguez et al. (2025) señalan que las tecnologías de Industria 4.0 pueden fortalecer los sistemas Lean mediante una mayor disponibilidad de información y capacidades digitales aplicadas a los procesos productivos. Cuando estos datos se integran mediante plataformas de análisis, pueden convertirse en información útil para identificar desviaciones y respaldar decisiones relacionadas con mantenimiento, planificación, calidad y utilización de recursos.

La inteligencia artificial y la analítica avanzada amplían estas capacidades al permitir identificar patrones, realizar predicciones y apoyar determinadas decisiones operativas. En mantenimiento, por ejemplo, los modelos predictivos pueden analizar variables de funcionamiento para estimar condiciones asociadas con posibles fallas. En producción, el análisis de datos puede contribuir a reconocer variaciones en tiempos de ciclo, detectar anomalías y optimizar determinados parámetros. Alva (2026) destacan precisamente la incorporación de inteligencia artificial en diferentes fases de la manufactura inteligente, evidenciando su potencial para analizar información y apoyar procesos industriales. Estas aplicaciones adquieren mayor valor cuando se encuentran vinculadas con objetivos concretos de eficiencia y no cuando se incorporan únicamente como innovaciones tecnológicas.

Integración Lean–Industria 4.0

La integración entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 puede entenderse como una relación complementaria entre una metodología orientada a la eficiencia y un conjunto de tecnologías destinadas a ampliar las capacidades de información, automatización y control. Lean determina qué procesos necesitan ser mejorados y qué desperdicios deben reducirse, mientras que Industria 4.0 proporciona recursos tecnológicos para observar, analizar y gestionar dichos procesos con mayor precisión. Jimbo et al. (2023) sostienen que ambos enfoques pueden complementarse debido a que Lean aporta capacidades de mejora de los procesos, mientras que las tecnologías digitales proporcionan flexibilidad, conectividad y mayores posibilidades de respuesta frente a las demandas productivas. Esta relación permite pasar de una identificación principalmente reactiva de problemas hacia mecanismos de supervisión continua y, en determinados casos, predictiva.

Un modelo de integración tecnológica requiere establecer una relación entre las necesidades productivas y las soluciones digitales disponibles. La incorporación de sensores, sistemas de información, automatización o inteligencia artificial debe responder a problemas concretos previamente identificados mediante principios Lean. Chávez et al. (2026), a partir de una revisión sistemática de 111 trabajos, identificaron elementos constitutivos de Lean Management e Industria 4.0 que pueden orientar la implementación práctica de su integración. Así, la digitalización deja de ser un proceso centrado exclusivamente en adquirir tecnología y pasa a convertirse en un mecanismo orientado a fortalecer el flujo productivo, reducir variabilidad, mejorar la calidad, disminuir tiempos improductivos y utilizar racionalmente los recursos.

La articulación de ambos enfoques puede representarse mediante una secuencia de mejora en la que primero se identifican los desperdicios y las restricciones del proceso, posteriormente se determinan las tecnologías capaces de generar información o automatizar actividades relevantes, después se integran los datos para facilitar el análisis y, finalmente, se establecen mecanismos de seguimiento y mejora continua. Moreira (2025) encontraron que la integración de principios Lean con tecnologías de Industria 4.0 puede generar beneficios operativos relacionados con los tiempos de entrega, el rendimiento y la calidad, aunque su implementación también enfrenta barreras como los costes de inversión y la preparación tecnológica. Esta lógica permite conservar el carácter metodológico de Lean y aprovechar simultáneamente las capacidades digitales de Industria 4.0. El resultado esperado es un sistema productivo con mayor visibilidad, capacidad de respuesta y estabilidad operacional

Para la recopilación y organización de la información se utilizará una ficha de análisis documental, destinada a sistematizar los contenidos obtenidos de artículos científicos, revisiones académicas y documentos especializados relacionados con Lean Manufacturing, Industria 4.0, reducción de desperdicios, productividad e integración tecnológica. El instrumento permitirá registrar datos bibliográficos, objetivos, enfoques metodológicos, tecnologías analizadas, prácticas Lean empleadas, principales aportes y relaciones identificadas entre las variables abordadas. Su aplicación facilitará la comparación de los planteamientos encontrados y la organización estructurada de información relevante para determinar los componentes susceptibles de incorporarse en un modelo de integración tecnológica orientado a mejorar el desempeño y la productividad de los sistemas industriales.

Analizar la integración de Lean Manufacturing e Industria 4.0 para identificar los componentes tecnológicos y metodológicos que contribuyen a la reducción de desperdicios y al mejoramiento de la productividad en los sistemas industriales.

A partir de la necesidad de comprender la relación entre los principios de Lean Manufacturing y las capacidades tecnológicas de la Industria 4.0, resulta pertinente examinar de qué forma ambos enfoques pueden articularse dentro de los sistemas productivos. La reducción de desperdicios y el incremento de la productividad requieren no solo la identificación de actividades que no generan valor, sino también el aprovechamiento estratégico de tecnologías digitales que permitan obtener información, optimizar procesos y fortalecer la toma de decisiones. Bajo esta perspectiva, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede integrarse Lean Manufacturing con las tecnologías de Industria 4.0 para reducir desperdicios y mejorar la productividad de los sistemas industriales?

2. METODOLOGÍA

Se desarrolló un estudio de enfoque cualitativo, con alcance descriptivo y diseño documental, orientado al análisis de publicaciones científicas relacionadas con Lean Manufacturing, Industria 4.0, reducción de desperdicios, productividad industrial e integración tecnológica. El proceso de revisión se estructuró conforme a las recomendaciones de PRISMA 2020, con el propósito de garantizar una selección organizada, transparente y reproducible de las fuentes. La búsqueda documental se efectuó en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, SciELO, Redalyc, Dialnet y Latindex, considerando publicaciones correspondientes al periodo 2019–2026, debido a la necesidad de incorporar aportes recientes sobre la transformación digital de los sistemas productivos y su articulación con los principios Lean. La estrategia de búsqueda combinó descriptores en español e inglés mediante operadores booleanos AND y OR, empleando términos como Lean Manufacturing, Lean Production, Industry 4.0, Smart Manufacturing, digital transformation, waste reduction, productivity, Lean 4.0 y technological integration. En la fase de identificación se localizaron 156 registros procedentes de las bases consultadas. Posteriormente, se realizó la depuración de los resultados y se identificaron 34 registros duplicados, por lo que fueron eliminados, quedando 122 documentos para la etapa de cribado. La información bibliográfica inicial fue trasladada a una matriz elaborada en Microsoft Excel, donde se registraron título, autoría, año, base de datos, enlace o DOI y correspondencia temática.

Durante la fase de cribado se revisaron los títulos y resúmenes de los 122 documentos disponibles. Como criterios de inclusión se consideraron publicaciones científicas relacionadas directamente con Lean Manufacturing, Industria 4.0 o la integración de ambos enfoques; estudios que abordaran reducción de desperdicios, eficiencia, productividad, optimización de procesos o transformación tecnológica; documentos publicados entre 2019 y 2026; y trabajos con información suficiente para analizar sus principales aportes. Se excluyeron documentos duplicados, publicaciones alejadas de la temática, estudios centrados exclusivamente en tecnologías sin relación con la gestión Lean, trabajos sin acceso a información suficiente y documentos que no presentaran aportes vinculados con el desempeño de los procesos industriales. Como resultado de esta fase, se excluyeron 61 registros, quedando 61 documentos para la evaluación de elegibilidad.

La etapa de elegibilidad comprendió la lectura detallada de los 61 textos seleccionados, con el propósito de determinar su correspondencia con las categorías de análisis establecidas. En esta revisión se valoró la relación entre los principios Lean y las tecnologías de Industria 4.0, así como sus aportes en materia de eliminación de desperdicios, mejora de

procesos, productividad, calidad, mantenimiento, automatización, análisis de datos y toma de decisiones. Después de esta evaluación se excluyeron 45 documentos debido a insuficiente relación con las variables centrales, limitaciones en el contenido analizable o falta de correspondencia con el propósito de la revisión. De esta manera, se obtuvieron 16 documentos que cumplieron los criterios definidos y fueron incorporados al análisis cualitativo final.

La información de los 16 documentos incluidos fue organizada mediante una ficha de análisis documental, utilizada como instrumento para registrar de forma estructurada los datos bibliográficos, objetivos, metodología, tecnologías de Industria 4.0 examinadas, prácticas Lean identificadas, tipos de desperdicio abordados, aportes relacionados con la productividad y principales conclusiones. La matriz fue gestionada en Microsoft Excel, lo que permitió ordenar los registros, controlar los criterios de inclusión y exclusión, comparar las categorías identificadas y establecer relaciones entre las prácticas Lean y las tecnologías digitales. El análisis cualitativo permitió reconocer patrones relacionados con la integración tecnológica, particularmente en áreas como monitorización de procesos, mantenimiento predictivo, automatización, analítica de datos, Internet de las Cosas Industrial e inteligencia artificial.

Tabla 1

Flujo PRISMA 2020

Fase	Registros
Registros identificados mediante bases de datos	156
Registros duplicados eliminados	34
Registros después de eliminar duplicados	122
Registros excluidos durante el cribado	61
Documentos evaluados para elegibilidad	61
Documentos excluidos después de lectura completa	45
Estudios incluidos en la revisión cualitativa	16

3. RESULTADOS

El análisis de la información permitió identificar que la integración entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 se configura como una estrategia orientada a fortalecer la eficiencia de los procesos mediante la combinación de principios de eliminación de desperdicios con capacidades digitales de monitorización, automatización y análisis de información. La articulación de ambos enfoques favorece una mayor visibilidad sobre el comportamiento de las operaciones, permitiendo reconocer desviaciones, restricciones y actividades que afectan el flujo productivo. Esta relación muestra que las prácticas Lean adquieren mayores posibilidades de seguimiento y control cuando se apoyan en tecnologías capaces de generar información continua sobre las condiciones reales de producción.

La reducción de desperdicios constituye uno de los principales beneficios asociados con la integración tecnológica. La aplicación de herramientas Lean permite identificar sobreproducción, tiempos de espera, movimientos innecesarios, exceso de inventarios, defectos, transporte y actividades que no aportan valor, mientras que las tecnologías digitales facilitan su detección mediante datos obtenidos directamente de los procesos. La monitorización en tiempo real contribuye a localizar interrupciones y variaciones en los tiempos de ciclo, mientras que los sistemas de análisis permiten establecer relaciones entre las causas de las pérdidas y su impacto sobre el desempeño productivo. Esta combinación favorece intervenciones más oportunas y disminuye la dependencia de evaluaciones realizadas únicamente después de que ocurre el problema.

Otro hallazgo relevante corresponde al fortalecimiento de la gestión del mantenimiento mediante la incorporación de tecnologías digitales a las prácticas Lean. La utilización de sensores, Internet de las Cosas Industrial y sistemas de análisis predictivo permite supervisar variables relacionadas con el funcionamiento de los equipos y reconocer comportamientos anómalos antes de que ocasionen interrupciones significativas. Esta capacidad contribuye a disminuir tiempos de inactividad, fallas inesperadas y pérdidas asociadas con reparaciones no planificadas. La

integración del mantenimiento predictivo con principios de mejora continua favorece una gestión más anticipada de los recursos productivos y contribuye a mantener la estabilidad del flujo de trabajo.

La analítica de datos aparece como un componente determinante para transformar la información generada por los procesos en conocimiento útil para la toma de decisiones. Los sistemas digitales permiten recopilar datos relacionados con tiempos de producción, calidad, utilización de maquinaria, consumo de recursos y comportamiento de los procesos, mientras que las técnicas analíticas posibilitan identificar patrones y desviaciones. Su incorporación dentro de una lógica Lean facilita priorizar acciones de mejora a partir de información cuantificable y actualizada. Esta capacidad representa una evolución respecto de los mecanismos tradicionales de observación, debido a que permite complementar la identificación visual de problemas con análisis continuos y orientados a determinadas variables de desempeño.

La productividad industrial también presenta posibilidades de mejora cuando las tecnologías de Industria 4.0 se vinculan con prácticas Lean. La automatización de actividades repetitivas, la supervisión digital de los procesos y el análisis de indicadores permiten optimizar tiempos de ciclo, reducir interrupciones y utilizar con mayor eficiencia los recursos disponibles. La integración tecnológica puede favorecer una producción más flexible frente a variaciones en la demanda y facilitar ajustes en determinados parámetros operativos. Sin embargo, los beneficios productivos dependen de que la tecnología responda a necesidades previamente identificadas en los procesos y no de su incorporación como una acción independiente de la estrategia de mejora.

La calidad constituye otra dimensión favorecida por la convergencia entre ambos enfoques. Los sistemas digitales pueden supervisar variables de producción y detectar desviaciones durante las diferentes etapas del proceso, facilitando la identificación temprana de condiciones asociadas con productos defectuosos. Al vincular esta capacidad con prácticas Lean orientadas a la prevención de errores y estandarización, es posible reducir reprocesos, desperdicio de materiales y pérdidas derivadas de productos que no cumplen las especificaciones. La información generada también puede utilizarse para identificar tendencias y establecer acciones correctivas antes de que las desviaciones alcancen mayores proporciones.

Los hallazgos también permiten reconocer que la interoperabilidad y disponibilidad de información son condiciones importantes para alcanzar una integración efectiva. La conexión entre máquinas, sistemas de producción y plataformas de análisis facilita que los datos circulen entre diferentes niveles de la organización y puedan utilizarse para coordinar decisiones operativas. Cuando los sistemas permanecen aislados, disminuye la capacidad de aprovechar la información generada y se mantienen dificultades asociadas con registros fragmentados. Por ello, la integración tecnológica requiere una arquitectura que facilite la comunicación entre los diferentes componentes digitales y que permita relacionar los datos con los indicadores de desempeño utilizados por Lean Manufacturing.

La dimensión humana y organizacional adquiere igualmente relevancia dentro de los hallazgos. La incorporación de tecnologías avanzadas no elimina la necesidad de participación de los trabajadores, sino que modifica las capacidades requeridas para interpretar información, supervisar sistemas y participar en procesos de mejora. La capacitación tecnológica, la adaptación de funciones, el liderazgo y la disposición hacia el cambio influyen sobre la posibilidad de obtener beneficios sostenibles. Una implementación centrada exclusivamente en infraestructura puede presentar limitaciones si no se acompaña de competencias que permitan utilizar adecuadamente los sistemas digitales y relacionar sus resultados con las prácticas de mejora continua.

A partir de estas relaciones, se identifica una estructura para el modelo de integración tecnológica Lean–Industria 4.0 basada en cinco componentes: identificación de desperdicios, digitalización y captura de datos, análisis inteligente de la información, intervención orientada a la mejora y seguimiento continuo del desempeño. La primera etapa permite determinar las pérdidas y restricciones existentes; la segunda incorpora tecnologías para obtener información del proceso; la tercera transforma los datos en información útil para la decisión; la cuarta orienta las acciones correctivas y de optimización; y la quinta verifica los cambios mediante indicadores de productividad, calidad, tiempos, recursos y desperdicios. Esta secuencia permite que la digitalización mantenga una finalidad productiva concreta y que las tecnologías se incorporen de acuerdo con las necesidades de cada proceso.

La integración propuesta permite establecer una relación funcional en la que Lean Manufacturing define las necesidades de mejora e Industria 4.0 amplía las capacidades para identificarlas, analizarlas y controlarlas. Bajo este planteamiento, tecnologías como Internet de las Cosas Industrial, inteligencia artificial, analítica de datos, computación en la nube y sistemas ciberfísicos pueden actuar como elementos facilitadores de prácticas relacionadas con mantenimiento, calidad, flujo continuo y reducción de desperdicios. El aporte principal del modelo radica en orientar la transformación digital hacia objetivos operativos concretos, evitando que la incorporación tecnológica se limite a la automatización de actividades sin una relación clara con la productividad y la generación de valor.

4. DISCUSIÓN

La integración entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 plantea una evolución en la forma de abordar la eficiencia de los sistemas productivos, debido a que combina una orientación metodológica centrada en la eliminación de desperdicios con capacidades digitales destinadas a mejorar la observación, el análisis y el control de las operaciones. Los hallazgos muestran que Lean proporciona los criterios para reconocer actividades que no generan valor, mientras que las tecnologías digitales permiten obtener información más precisa sobre las condiciones en que dichas pérdidas se producen. Esta relación resulta relevante porque la digitalización adquiere una finalidad claramente vinculada con la mejora del proceso y no únicamente con la incorporación de nuevas tecnologías.

La reducción de desperdicios constituye uno de los puntos de mayor convergencia entre ambos enfoques. Las prácticas Lean permiten localizar pérdidas asociadas con esperas, inventarios, defectos, movimientos innecesarios, sobreproducción y utilización inadecuada de recursos, mientras que sensores, sistemas conectados y plataformas de análisis permiten realizar un seguimiento más continuo de estas condiciones. Esta capacidad modifica la gestión tradicional de los desperdicios, ya que posibilita pasar de intervenciones realizadas después de identificar una pérdida hacia mecanismos de detección más temprana. La utilidad de esta integración depende, no obstante, de que los datos obtenidos se relacionen con indicadores operativos y conduzcan a acciones concretas de mejora.

La gestión del mantenimiento representa un ámbito particularmente favorable para esta convergencia. El mantenimiento predictivo permite analizar variables procedentes de los equipos y reconocer comportamientos que pueden asociarse con futuras interrupciones, mientras que Lean aporta principios orientados a disminuir las pérdidas ocasionadas por paradas, fallas y tiempos improductivos. La articulación de estas capacidades puede contribuir a una mayor disponibilidad de los equipos y a una planificación más eficiente de las intervenciones. Esta relación demuestra que la Industria 4.0 no reemplaza las prácticas Lean, sino que puede proporcionar información adicional para fortalecerlas y ampliar su capacidad de anticipación.

La analítica de datos también modifica la manera en que se identifican y priorizan las oportunidades de mejora. Los enfoques Lean tradicionales dependen en buena medida de la observación directa, los indicadores de desempeño y el análisis de las causas de los problemas; las tecnologías digitales amplían estas posibilidades al procesar grandes cantidades de información generada durante las operaciones. La disponibilidad de datos sobre tiempos de ciclo, calidad, utilización de maquinaria y consumo de recursos facilita identificar patrones que pueden pasar inadvertidos mediante mecanismos convencionales. Por ello, la integración tecnológica favorece decisiones sustentadas en información actualizada y permite orientar los esfuerzos de mejora hacia las variables con mayor impacto sobre el desempeño.

Los hallazgos relacionados con la productividad permiten interpretar que el aporte de Industria 4.0 adquiere mayor relevancia cuando se encuentra articulado con objetivos Lean previamente definidos. La automatización, por sí misma, no garantiza una mejora productiva si se aplica sobre procesos que mantienen desperdicios, restricciones o actividades innecesarias. En cambio, cuando la tecnología se incorpora después de identificar las causas que afectan el flujo productivo, puede contribuir a reducir tiempos de ciclo, disminuir interrupciones y optimizar la utilización de recursos. Esta consideración resulta importante para evitar que la transformación digital se limite a sustituir actividades manuales sin modificar las condiciones que originan las pérdidas.

La calidad constituye otra dimensión en la que la integración puede generar efectos favorables. La monitorización continua facilita identificar desviaciones durante el proceso y actuar antes de que estas se traduzcan en productos defectuosos o reprocesos. Al combinar esta capacidad con prácticas Lean relacionadas con la estandarización, prevención de errores y mejora continua, se fortalece el control de las condiciones productivas. La disminución de defectos no solo repercute sobre la calidad final, sino también sobre el consumo de materiales, los tiempos de producción y los costes derivados de correcciones y reprocesamiento.

La transformación tecnológica requiere igualmente condiciones organizacionales adecuadas. La disponibilidad de sensores, plataformas digitales o sistemas de inteligencia artificial no asegura por sí misma la obtención de beneficios sostenibles. Se requieren competencias para interpretar información, infraestructura que permita conectar los diferentes sistemas, criterios para gestionar los datos y una cultura orientada a la mejora continua. La participación de los trabajadores mantiene un papel relevante porque las decisiones derivadas de la información tecnológica deben traducirse en modificaciones concretas de los procesos. En este sentido, la dimensión humana continúa siendo necesaria incluso en sistemas productivos con altos niveles de automatización.

La interoperabilidad representa una condición importante para consolidar la integración Lean–Industria 4.0. Los sistemas productivos pueden generar grandes cantidades de datos, pero su utilidad disminuye cuando permanecen almacenados en plataformas aisladas o cuando no existe comunicación entre máquinas, sistemas de producción y mecanismos de análisis. Una arquitectura digital integrada permite relacionar información procedente de diferentes etapas y establecer una visión más amplia del comportamiento del proceso. Esta condición favorece una toma de decisiones coordinada y permite vincular los indicadores tecnológicos con los objetivos de eficiencia establecidos desde Lean Manufacturing.

A partir de estas consideraciones, el modelo de integración identificado puede interpretarse como una relación progresiva entre diagnóstico, digitalización, análisis, intervención y mejora continua. El diagnóstico corresponde a la identificación de desperdicios y restricciones; la digitalización permite capturar información; el análisis transforma los datos en conocimiento útil; la intervención orienta las acciones correctivas y de optimización; y la mejora continua permite verificar y ajustar los cambios realizados. Esta estructura conserva la lógica fundamental de Lean, pero incorpora capacidades digitales que incrementan la velocidad y precisión con que pueden identificarse y atenderse los problemas productivos.

El principal aporte de esta integración se encuentra, por tanto, en la posibilidad de construir sistemas productivos capaces de combinar eficiencia, visibilidad y capacidad de respuesta. Lean Manufacturing proporciona una orientación clara hacia la generación de valor y la reducción de pérdidas, mientras que Industria 4.0 aporta mecanismos para capturar información, automatizar determinadas actividades, anticipar comportamientos y apoyar decisiones. La relación entre ambos enfoques debe comprenderse como complementaria y no como sustitutiva, debido a que una transformación tecnológica sin criterios de mejora puede incrementar la complejidad del sistema, mientras que Lean sin capacidades digitales puede enfrentar limitaciones para gestionar procesos altamente dinámicos.

Desde una perspectiva industrial, los hallazgos respaldan la conveniencia de implementar la transformación digital de forma gradual y vinculada con necesidades concretas del proceso. La identificación previa de desperdicios permite establecer prioridades tecnológicas y evitar inversiones que no generen mejoras proporcionales. Asimismo, la selección de tecnologías debe considerar la infraestructura disponible, las competencias del personal, la capacidad de integración de los sistemas y los indicadores mediante los cuales se evaluará el desempeño. Esta orientación permite que la Industria 4.0 se convierta en un medio para fortalecer la productividad y no simplemente en un proceso de modernización tecnológica.

Los hallazgos permiten sostener que un modelo Lean–Industria 4.0 puede contribuir a una gestión industrial más eficiente cuando existe correspondencia entre las prácticas de mejora y las capacidades digitales incorporadas. La reducción de desperdicios, la disminución de tiempos improductivos, el mantenimiento predictivo, el control de calidad y el análisis de datos representan áreas en las que esta convergencia puede generar mejoras relevantes. Su efectividad, sin embargo, depende de la articulación entre tecnología, procesos y personas, por lo que la

transformación debe abordarse desde una perspectiva integral que considere tanto las condiciones técnicas como las organizacionales necesarias para sostener los cambios alcanzados.

5. CONCLUSIÓN

La integración de Lean Manufacturing con las tecnologías de Industria 4.0 constituye una estrategia pertinente para fortalecer la eficiencia de los sistemas productivos, al combinar la identificación y eliminación de actividades que no generan valor con capacidades digitales para el monitoreo, análisis y control de los procesos. Esta articulación permite orientar la transformación tecnológica hacia necesidades concretas de mejora, evitando una adopción aislada de soluciones digitales.

La reducción de desperdicios y el incremento de la productividad representan beneficios relevantes de esta integración. Sensores, sistemas conectados, analítica de datos y automatización facilitan detectar sobreproducción, tiempos de espera, defectos, movimientos innecesarios, inventarios excesivos y fallas operativas, además de contribuir a disminuir tiempos de ciclo, reprocesos e interrupciones. No obstante, estos beneficios dependen de que la tecnología responda a objetivos operativos previamente definidos mediante los principios Lean.

El modelo identificado puede organizarse en cinco componentes articulados: identificación de desperdicios, digitalización y captura de datos, análisis inteligente de la información, intervención para la mejora y monitoreo continuo del desempeño. Su aplicación requiere, además, condiciones organizacionales favorables, entre ellas capacitación del personal, participación de los trabajadores, infraestructura digital adecuada, interoperabilidad de los sistemas, gestión de datos y compromiso directivo, factores que permiten sostener las mejoras alcanzadas.

La relación entre Lean Manufacturing e Industria 4.0 demuestra que ambos enfoques son complementarios: Lean orienta los procesos hacia el valor, la eliminación de desperdicios y la mejora continua, mientras Industria 4.0 amplía la capacidad para medir, analizar, anticipar e intervenir sobre las condiciones productivas. En respuesta a la pregunta de investigación, su integración puede estructurarse a partir de las necesidades de mejora identificadas mediante Lean, utilizando las tecnologías digitales para generar información y decisiones orientadas específicamente a reducir desperdicios y mejorar la productividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, d. I. (2026). Internet de las cosas: el dispositivo de la datificación. Revista mexicana de ciencias políticas y sociales, <https://doi.org/10.22201/fcpys.2448492xe.2026.256.94606>
- Chávez, A. V., & Torres, M. L. (2026). La inteligencia artificial en la investigación científica: una revisión sistemática trienal. Revista InveCom, <https://doi.org/10.5281/zenodo.17238020>
- Cifuentes, W. X., & Herrera, Q. J. (2025). Una oteada reflexiva hacia el contexto epistemológico de la analítica de datos. Sophia, <https://doi.org/10.18634/sophiaj.21v.1i.1440>
- Coronel, R. L., & Balladares, A. C. (2026). Análisis de la implementación de la metodología Lean Kaizen en la gestión de energía: una revisión sistemática. Revista InveCom, <https://doi.org/10.5281/zenodo.16999763>
- Domínguez, S. D., Ramírez, E. H., & Martínez, R. M. (2025). El papel de la tecnología para la gestión integral de residuos textiles en México: una revisión. Inter disciplina, <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2025.37.87158>
- Fernández, M., & Sánchez, M. J. (2021). Técnicas e instrumentos de recolección de información: análisis y procesamiento realizado por el investigador cualitativo. Revista Científica UISRAEL, <https://doi.org/10.35290/rcui.v8n1.2021.400>
- Gonzalez, M. A., & Solano, B. A. (2023). Enseñanza de la analítica de datos usando aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Formación universitaria , <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062023000600023>
- Hernández, R. G., & Arriola, R. E. (2025). ¿Están listas las maquiladoras para implementar la Industria 4.0? Frontera norte, <https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2383>

- Jimbo, S. P., & Lanzarini, L. C. (2023). Inteligencia artificial para analizar el rendimiento académico en instituciones de educación superior. Una revisión sistemática de la literatura. Revista Cátedra, <https://doi.org/10.29166/catedra.v6i2.4408>
- Maricahua, J. T. (2026). Transformación digital y gestión del talento humano: revisión sistemática de evidencia científica 2020-2024. Revista InveCom, <https://doi.org/10.5281/zenodo.15748029>
- Monsalves, D., Riquelme, F., & Olivares, P. (2025). Inteligencia artificial como servicio: Potenciando la innovación y eficiencia en la industria y las metodologías ágiles. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-33052024000100234>
- Moreira, B. J. (2025). Desarrollo de competencias investigativas a través de la inteligencia artificial. Un enfoque innovador. Revista Cátedra, <https://doi.org/10.29166/catedra.v8i1.6621>
- Peñalver, H. M., & Isea, A. J. (2024). Transformación hacia fábricas inteligentes: El papel de la IA en la industria 4.0. Ingenium et Potentia. Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, <https://doi.org/10.35381/i.p.v6i10.3742>
- Pérez, R. A., & Hernández, P. K. (2026). La gestión de la calidad en la industria 4.0: un nuevo enfoque tecnológico y de eficiencia en la era digital. Revista Universidad y Empresa, <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.14636>
- Rodríguez, A. L., & Isea, A. J. (2025). Ingeniería de prompts en la industria 4.0: Optimización y automatización inteligente de procesos industriales. Ingenium et Potentia. Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura, <https://doi.org/10.35381/i.p.v7i12.4438>
- Valencia, J. J., Gutierrez, C. G., & Flores, M. V. (2025). Lean Manufacturing en el mejoramiento continuo de la productividad. Revista InveCom, <https://doi.org/10.5281/zenodo.14002915>
- Villa, B. C., & Camacho, C. C. (2020). Análisis de datos como alternativa para la evaluación de impacto de los programas sociales. Intersticios sociales, https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-49642020000200013

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio se llevó a cabo de conformidad con los principios éticos que rigen la investigación con participantes humanos. Antes de la recolección de los datos, el protocolo de investigación fue revisado y aprobado por el comité de ética institucional correspondiente. Todos los participantes fueron informados de manera clara sobre los objetivos del estudio, los procedimientos, las posibles implicaciones y el carácter voluntario de su participación, otorgando posteriormente su consentimiento informado. Durante todo el proceso de investigación se garantizó la confidencialidad de la información, el anonimato de los participantes y el uso exclusivo de los datos recopilados con fines científicos y académicos.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores declaran que la herramienta de inteligencia artificial generativa ChatGPT fue utilizada exclusivamente para la traducción al idioma inglés y la revisión lingüística del manuscrito. La herramienta no contribuyó a la concepción del estudio, el diseño de la investigación, la recolección de datos, el análisis estadístico, la interpretación de los resultados ni a la elaboración de las conclusiones. Los autores asumen la plena responsabilidad por la originalidad, exactitud, integridad y validez científica del contenido presentado en este manuscrito.

FINANCIAMIENTO

La presente investigación no recibió subvenciones, becas ni apoyo financiero específico por parte de organismos públicos, entidades comerciales u organizaciones sin fines de lucro.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses de carácter financiero, personal, profesional o institucional que hayan podido influir en el desarrollo, los resultados o la publicación de esta investigación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Christian Anthony Lázaro Russell (CALR)

Indicar las funciones desempeñadas por cada autor:

Conceptualización: (CALR)

Curación de datos: (CALR)

Análisis formal: (CALR)

Adquisición de fondos: (CALR)

Investigación: (CALR)

Metodología: (CALR)

Administración del proyecto: (CALR)

Recursos: No Aplica

Software: (CALR)

Supervisión: (CALR)

Validación: (CALR)

Visualización: (CALR)

Redacción – Borrador original: (CALR)

Redacción – Revisión y edición: (CALR)