

A Systematic Review of the Lean Model Manufacturing in the Supply Chain of the Metal-Mechanical Companies

Dayana Corro¹, Mileni Tisnado², Monica Ontaneda-Portal³ and William C. Algoner⁴
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19313093@utp.edu.pe, u19313653@utp.edu.pe,
c21326@utp.edu.pe, walgoner@utp.edu.pe

Resumen– Metal-mechanical companies, driven by the need to remain competitive, resort to implementing the Lean Manufacturing (LM) methodology in the supply chain, seeking to increase productivity and optimize processes. This article identifies and analyzes the benefits and limitations of applying LM tools. A systematic literature review was carried out between 2013 to 2023, using the PICO strategy and prism method to formulate the main question and four additional questions for developing the RSL. 25 articles were collected using the exclusion and inclusion criteria of the Scopus, Web of Science, IEEE, Science Direct, and Emerald databases. The results of implementing LM were a 40% increase in productivity and 5% less waste in the processes. It is concluded that Lean Manufacturing tools which are Lean Six Sigma, 5S, JIT, PDCA, Kanban, and TPM, seek to eliminate waste and improve efficiency and productivity in the supply chain.

Keywords -- Lean Manufacturing, metalworking, productivity, efficiency, supply chain, barriers, benefits, and continuous improvement.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Una Revisión Sistemática del Modelo Lean Manufacturing en la Cadena de Suministro de las Empresas Metal Mecánicas

Dayana Corro¹, Mileni Tisnado², Monica Ontaneda-Portal³ and William C. Algoner⁴
^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19313093@utp.edu.pe, u19313653@utp.edu.pe,
c21326@utp.edu.pe, walgoner@utp.edu.pe

Resumen— *empresas metal mecánicas, impulsadas por la necesidad de mantenerse competitivas, recurren a implementar la metodología Lean Manufacturing (LM) en la cadena de suministro, buscando aumentar la productividad y optimizar procesos. Este artículo tiene como objetivo identificar, analizar los beneficios y limitaciones de que se presenta al aplicar las herramientas LM. Se realizó una revisión sistemática de la literatura entre los años 2013 al 2023, empleando la estrategia PICO y método prisma para formular la pregunta principal y cuatro preguntas adicionales para el desarrollo de la RSL. Se recopiló 25 artículos mediante los criterios de exclusión e inclusión de las bases de datos Scopus, Web of Science, IEEE, Science Direct y Emeraldcon. Los resultados al implementar LM se obtuvo un aumento del 40% productividad y 5% menos de desperdicios en los procesos. Se llega a la conclusión que las herramientas Lean Manufacturing los cuales son Lean Six Sigma, 5S, JIT, PDCA, Kanban y TPM buscan eliminar desperdicios, mejorar eficiencia y productividad en la cadena de suministro.*

Palabras clave— *Lean Manufacturing, metalmecánicas, productividad, eficiencia, cadena de suministro, barreras, beneficios y mejora continua.*

I. INTRODUCCIÓN

El sector metalmecánico es una parte importante de la industria manufacturera y desempeña un papel importante al proveer bienes de capital, como maquinaria y equipos, a diversos sectores industriales como minería, construcción y automotriz. Este tipo de industria se destaca por formar parte fundamental al poder conectar y abastecer a otros sectores con los productos necesarios para sus operaciones [1]. Por lo cual, el éxito empresarial no se limita a la eficiencia y productividad de las operaciones internas; sino también radica en la habilidad de establecer conexiones exitosas entre los procesos internos, las relaciones con clientes y proveedores externos [2]. Así mismo, la eficiencia en el proceso de producción y el manejo de la cadena de suministro son elementos claves para el desarrollo empresarial. Como menciona [3] y [4] que para ser competitivos un factor importante es el manejo de la cadena de suministro, ya que ayuda a mejorar la distribución de productos optimizando los recursos disponibles.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

La problemática que tienen las empresas metalmecánicas es una deficiente organización en la recepción y entrega de productos. Ello significa que hay un deficiente manejo en la cadena de suministro, como hace mención el artículo [5] no se emplean modelos de producción como la fabricación Justo a Tiempo del Sistema producción Toyota, la planificación de requisitos de materiales o el Lean Manufacturing (LM) que se adapten a la situación real de las empresas y que de esta manera aumente su crecimiento empresarial. Por ello, la planificación inadecuada, la falta de mano de obra, maquinaria o materia prima causan retrasos en la entrega de los pedidos. Según el autor [6] indica que los desafíos en la cadena de suministro están asociados con el almacenamiento, producción, transporte y logística; un manejo inadecuado generaría costos adicionales para la empresa.

Los autores [7] y [8] concuerdan que la solución a estos problemas es implementar las herramientas de Lean Manufacturing los cuales son; 5S, TPM, Lean Six Sigma, Kanban, etc, ya que ayudará a aumentar la productividad, así mismo se disminuye los costos de inventario y eliminación de desperdicios; para que de esta manera se cumpla con las demandas requeridas de los clientes. Esta revisión puede utilizarse para identificar los desafíos específicos que enfrentan estas empresas al integrar Lean Manufacturing. Además, contribuirá a la creación de un entorno de trabajo donde se refleje una mejor organización, el orden y limpieza. Por último, el estudio realizado [9], se basado en observaciones y análisis de métodos y tiempos, que identificó factores limitantes en la progresión de la productividad. Utilizando herramientas como el mapa de flujo de valor, la teoría de restricciones, las 5S y el sistema Kanban, se propuso una solución que incorpora el pensamiento lean para optimizar la eficiencia y minimizar el tiempo de ciclo. La implementación de estas estrategias resultó en una mejora significativa del desempeño general, con una reducción del 15,74% en el tiempo de ciclo.

El propósito de este proyecto es identificar y reconocer los desafíos recurrentes que afectan los procesos de la cadena de suministro en las empresas del sector metal mecánica. Nuestra propuesta se centra en identificar y aplicar herramientas Lean Manufacturing (LM). La revisión de estas herramientas permitirá no solo solucionar los problemas existentes, sino

también evaluar los beneficios y limitaciones que las empresas pueden experimentar al implementarlas. Por último, identificar áreas donde las empresas pueden adaptar y personalizar estas herramientas para maximizar su efectividad.

En este contexto, la estructura del artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2, Metodología, se presentan las preguntas PIOC formuladas, la ecuación de búsqueda empleada (Scopus, Web of Science, IEEE, ScienceDirect y Emerald), el proceso de selección y exclusión de la información, y, finalmente, se adopta la metodología PRISMA para la elaboración de la investigación. La sección 3, Resultados, detalla los hallazgos obtenidos al aplicar la metodología PRISMA. Estos resultados se presentan a través de gráficos y cuadros analíticos, brindando una visión clara y estructurada de los datos recopilados. En la sección 4, Discusión, se realiza comparaciones sobre los resultados de Q2 Y Q3. Por último, en la sección conclusiones se responde al objetivo principal de esta revisión, se da a conocer los principales hallazgos de la RSL.

II. METODOLOGÍA

Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura (RSL) donde se empleó diversos artículos científicos, artículos de revisión sistemática y de conferencias. El proceso de recopilación de datos se basó en la metodología PICOC. En el inicio del proceso, se establecieron palabras clave pertinentes para cada uno de los componentes de PICOC. La cual se ha considerado las componentes problema, intervención, resultado y contexto, con ello se ha generado la pregunta central QR que enfrenta los aspectos relevantes de la investigación, luego se desglosa en una serie de interrogantes específicas correspondientes a cada uno de los elementos de PICOC, como se detalla en la tabla 1. Se procedió a buscar artículos en cinco bases de datos, Scopus, Web of Science, IEEE, ScienceDirect y Emerald lo que resultó en un total de 1517 documentos identificados para su posterior análisis. A continuación, se muestra la estructura PICOC:

RQ: ¿Qué herramientas Lean Manufacturing se utilizan para mejorar la gestión de los procesos (cadena de suministro) planificación y logística en las empresas metal mecánicas para aumentar la productividad?

Q1: ¿Cómo es la cadena de suministro en las empresas metal mecánicas?

Q2: ¿Qué herramientas de Lean Manufacturing se han empleado en las industrias manufactureras?

Q3: ¿Qué nivel de eficiencia y productividad se logró con las metodologías implementadas?

Q4: ¿En qué países se realizó el estudio de las empresas metalmecánica?

TABLA I
COMPONENTES PICOC

P	Problema	Organización, planificación, logística y proveedores	Organization OR planning OR logistic OR suppliers OR supply chain
I	Intervención	Herramientas Lean Manufacturing	"Lean manufacturing" OR "lean production" OR "5s methodology"
O	Resultado	Eficiencia y productividad	Performance OR productivity OR efficiency OR activity OR management OR maximize"
C	Contexto	Empresas metal mecánicas	"Metal industries" OR machinery OR projects OR metalworking OR metallurgical

Con las componentes PICOC se obtuvo las siguientes ecuaciones de búsqueda:

- **Base de datos Scopus:**

(TITLE-ABS-KEY ("organization" OR " planning" OR "logistic" OR "suppliers" OR "supply chain") AND TITLE-ABS-KEY ("lean manufacturing " OR "lean production " OR "5s methodology") AND TITLE-ABS-KEY ("performance" OR "productivity" OR "efficiency" OR "activity" OR "management" OR "maximize") AND TITLE-ABS-KEY ("metal industries" OR "metal processing" OR "projects" OR "metalworking" OR "metallurgical")) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2023

- **Base de datos Science Direct**

("organization" OR "logistic") AND ("lean manufacturing" OR "lean production") AND ("performance" OR "efficiency") AND ("metal industries" OR "metallurgical"

Durante la identificación de artículos en la base de datos de Scopus, se han empleado criterios de inclusión y exclusión, los cuales se detallan en la Tabla II. El objetivo de estos criterios ha sido asegurar la elegibilidad de documentos pertinentes al tema de investigación y eliminar aquellos que no se relacionan de manera adecuada con el tema central de la revisión.

TABLA II
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Crterios de Inclusión	Crterios de Exclusión
CI1: El documento desarrolla temas de organización, planificación y logística en el sector metal mecánica.	CE1: el documento NO menciona temas de organización, planificación y logística en el sector metal mecánica.
CI2: Herramientas Lean Manufacturing	CE2: Documentos desarrolla temas de Lean Manufacturing para empresas de construcción
CI3: Los resultados deben incluir eficiencia y productividad	CE3: Las publicaciones menciona eficiencia y productividad para sector minero, salud, etc.
CI4: artículos solo del sector metalmeccánica	CE4: Estudios que no desarrollan el tema de investigación principal.

Descripción del proceso de selección

De las bases de datos consultadas (Scopus, Web of Science, IEEE, Science Direct y Emerald), en un principio se recopilamos un total de 1517 artículos. Siguiendo con la identificación los registros eliminados antes del cribado fueron 118 por duplicados, 623 por no estar entre los años 2013 a 2023, 157 por ser artículos clasificados de "Proceeding Paper" y "Editorial Material" y 27 artículos de acceso restringido. Luego de esta primera eliminación quedaron 592 artículos, para el seguir con el cribado se aplicó el método del semáforo, donde el color verde y amarillo indica que los artículos pasarán por un segundo filtro y los de color rojo serán eliminados. Posteriormente, se realizó una revisión detallada de los títulos y resúmenes de los cuales se eliminaron 253 y 183 artículos que utilizaban las herramientas Lean Green dejando un total de 156 artículos para su evaluación en texto completo. Luego se encontraron 131 artículos que estaban relacionados con temas diversos, como el

sector salud, construcción de Carretera, edificaciones, textiles, naval e industria espacial, que no guardaban relación con la investigación en cuestión. Esto resultó en una muestra reducida de 25 que serán utilizados en el desarrollo de la RSL. A continuación, se muestra el método PRISMA

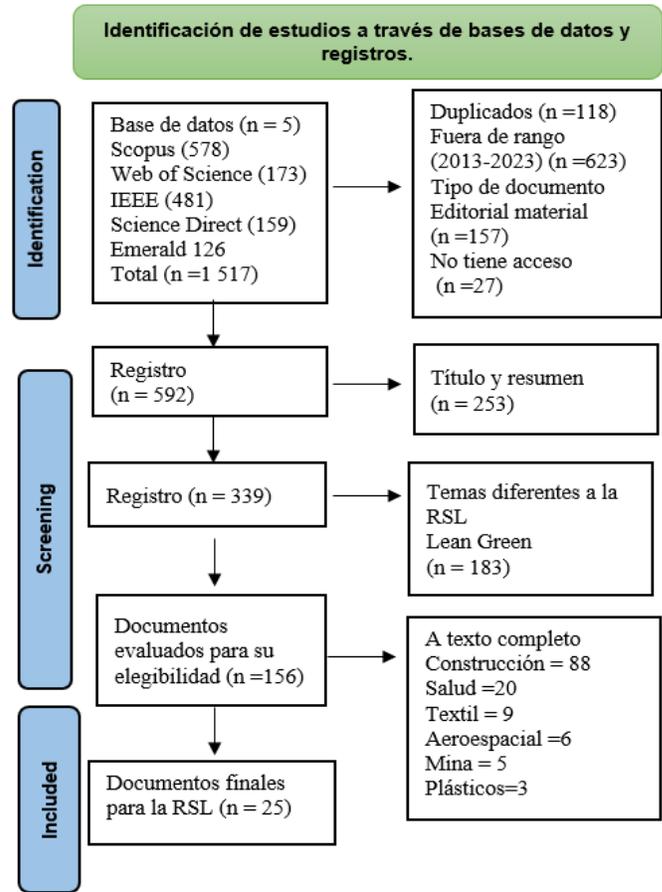


Figura 1: Diagrama PRISMA

Q1: ¿Cómo es la cadena de suministro en las empresas metal mecánicas?

- ¿Qué es una cadena de suministro?
- ¿En qué procesos de la cadena de suministro se encuentran las investigaciones?

Q2: ¿Qué herramientas de Lean Manufacturing se han empleado en las industrias manufactureras?

- ¿Cómo está definida las herramientas Lean Manufacturing?
- ¿Qué herramientas Lean Manufacturing fue utilizada en los artículos seleccionados?
- ¿Cómo se benefician las empresas manufactureras al utilizar Lean?
- ¿Cuáles fueron las barreras que se presentaron durante la implementación de Lean Manufacturing?

Q3: ¿Qué nivel de eficiencia y productividad se logró con las metodologías implementadas?

- ¿Cómo aumento o disminuyo la eficiencia y productividad con la implementación de las herramientas de manufactura esbelta?

Q4: ¿En qué países se realizó el estudio de las empresas metalmecánica?

- ¿En qué contexto empresarial se aplicó el estudio de LM de los artículos seleccionados?
- ¿En qué localización se realizó el estudio de los artículos seleccionados sobre de LM?

III. RESULTADOS

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos a partir de los artículos seleccionados, los cuales han sido identificados como pertinentes para la investigación en curso. Utilizando la metodología PRISMA, se ha logrado una lista de 25 artículos, los cuales han sido analizados por año de publicación, países donde se llevó a cabo las investigaciones y el tipo de estudio empleado ya sea cualitativo, cuantitativo o mixto. Este análisis también ha contribuido a abordar las preguntas PIOC.

En la figura 2 se puede observar que los 25 artículos seleccionados abarcan el periodo comprendido entre los años 2013 y 2020. Resulta relevante destacar que el año 2020 sobresale con la mayor cantidad de documentos, con un total de 6, seguido por el año y en el año 2018 con 5 artículos.

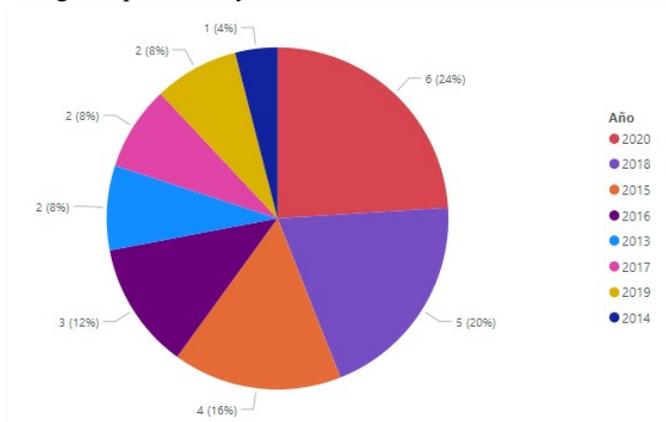
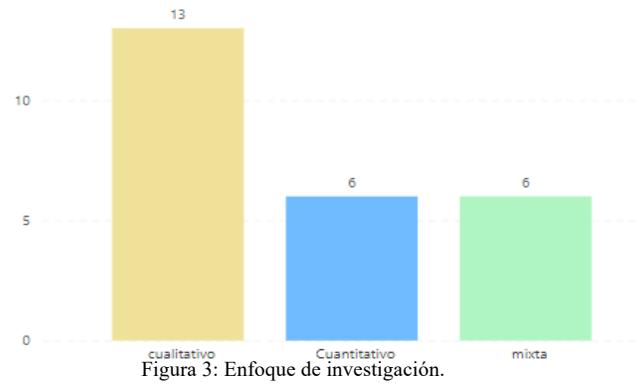


Figura 2: Años de publicación de los artículos desde 2013 al 2021

En la figura 3 se clasifica los artículos en cualitativos, cuantitativos y mixtos lo que facilitará la comprensión y análisis de las informaciones. Se puede observar que los 25 artículos seleccionados, 13 son de enfoque cualitativo, 6 de investigación cuantitativo y 6 de investigación cuantitativo mixto.



A continuación, los 25 artículos responderán a las preguntas PICO.

Q1: ¿Qué es de la cadena de suministro en las empresas metal mecánicas?

La cadena de suministro es un conjunto de procedimientos y otros elementos necesarios para la realización del ciclo de elaboración de productos o servicios. Este proceso engloba desde la adquisición de materias primas, la manufactura, la logística, el transporte y se extiende hasta la distribución del consumidor final. Según [10] la cadena de suministro conecta los procesos de diferentes organizaciones, desde la materia prima hasta el usuario final, y puede ampliarse al incluir servicios postventa y reciclaje. Además, como menciona [11], la gestión de la cadena de suministro se puede definir como un proceso de gestión eficiente que involucra desde el diseño del producto o servicio hasta el momento en que el producto es vendido, consumido desechado por el consumidor. Así mismo, el autor [2] la cadena de suministro comprende actividades interconectadas que buscan realizar los procesos de manera eficiente y reduciendo costos y minimizando desperdicios. Finalmente, el autor [12], indica de suministro automotriz es una estructura que describe cómo los componentes y materiales necesarios para la producción de vehículos se mueven desde los proveedores hasta los fabricantes de automóviles y, finalmente, a los distribuidores y concesionarios.

En la tabla III se observa que, de las 25 referencias analizadas, 4 investigan el proceso de logística de entrada, 1 investiga el proceso de logística de salida, 1 investigan el proceso de logística de entrada y producción y 20 investigan el proceso de producción. Se puede interpretar que las investigaciones mayormente se enfocan en el proceso de producción dentro de la cadena de suministro.

TABLA III
PROCESO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

¿En qué procesos de la cadena de suministro se encuentra?	Cantidad
Logística de entrada	4
logística de salida	1
producción	20
TOTAL	25

Q2: ¿Qué herramientas Lean Manufacturing se han empleado en las industrias manufactureras?

Conforme a las aportaciones de los autores [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], existen coincidencias en la definición sobre Lean Manufacturing (LM). Estos autores sostienen que las herramientas que se van a implementar en una empresa buscan identificar y eliminar aquellos desperdicios que no generan un valor, con el propósito de incrementar la eficiencia y productividad en los procesos. Asimismo, el autor [20] define LM como un enfoque superior en comparación con el sistema tradicional de producción en masa. Además, el autor [21] y [22] describen que LM como un método que aumenta la calidad, reduce los costos y la variabilidad del producto. Por último, el autor [10] detalla que LM son prácticas de mejora continua, considerando que la cadena de suministro es un proceso dinámico de cambio.

Las herramientas Lean que más se emplean en la cadena de suministro, según la corroboración de los autores [23], [24],[21] y [22], es el Lean Six Sigma. Estos autores destacan que dicha herramienta posibilita a las empresas obtener una posición más sólida en el mercado y satisfacer las expectativas de sus clientes al ofrecer productos de alta calidad. No obstante, otros investigadores como [25], [8], [15], [16], [26],[27], [10], [28] [5] y [29] han optado por utilizar herramientas como las 5S, JIT, PDCA, Kanban y TPM. Estas herramientas les facilitan el control de inventario, la reducción de costos operativos, así como la identificación y eliminación de desperdicios. Estas estrategias contribuyen significativamente a la satisfacción de la demanda del mercado, ver figura 4.

Según los autores [30] y [23], indican que algunas empresas no experimentan cambios significativos de mejora en su organización al adoptar herramientas LM. Este hecho se atribuye a que, al implementar herramientas como las 5S, Kanban, Kaizen, TPM o JIT no tuvieron éxito debido a barreras como los aspectos culturales de la organización, la tecnología, presupuesto y sobre todo la falta de compromiso del cambio por parte de los empleados y de los directivos.

Figura 4: Herramientas en la cadena de suministro

Q3: ¿Cómo aumento o disminuyo la eficiencia y productividad con la implementación de las herramientas de manufactura esbelta?

A pesar de desafíos que se presentan en la cadena de suministro cuando se implementa mejoras, algunos autores como [12] sostienen que la utilización de las herramientas LM conlleva beneficios significativos como la optimización de los flujos de información con los clientes o proveedores. Asimismo, [31] destaca que LM ayudo a las empresas manufactureras a identificar y eliminar los desperdicios sin valor. La referencia [19] después de implementar el mapeo de flujo de valor y

eliminar el cuello de botella se obtuvo un aumento del 40% productividad, la pérdida de rendimiento se redujo del 10% a menos de 5%. El autor [16] llega a la conclusión que la implementación de las herramientas como el balance de línea, tarjetas Kanban y Just in Time permitió disminuir el tiempo del proceso de ventas de 182.18 minutos a 85.08 minutos después de la redistribución de algunas actividades. Por otro lado, en un estudio de caso llevado a cabo por [26] en una empresa metalúrgica, se realizaron análisis para identificar mejoras en el proceso de mecanizado. Durante este análisis se identificó que la actividad que consumía más tiempo era la configuración de las máquinas vertical y horizontal. Con el objetivo de optimizar esta actividad se utilizó la metodología Lean SMED. Como resultado se redujo el tiempo de configuración en la fresadora vertical, disminuyendo el tiempo promedio de 9.21 minutos a 5.52 minutos, lo que representa el 40%. En la fresadora horizontal fue posible reducir el promedio de configuración del 57%.

Q4: ¿En qué países se realizó el estudio de las empresas metal mecánicas?

La mayoría de los artículos no especifica la ubicación geográfica de la investigación. En contraste, se observa que en Malasia cuenta con 3 investigaciones, seguida por Brasil y Marruecos con 2 cada uno. Otros países, como Canadá, India, Europa, Perú, Irlanda, Singapur, Sudáfrica, Tailandia y Vietnam se mencionan una vez. Con relación al tipo de empresa y su nivel de madurez, se destaca que 9 pertenecen al sector de Metal Mecánica, mientras que 8 son empresas MYPE, ver tabla IV.

TABLE IV
CONTEXTO EMPRESARIAL Y PAISES DONDE SE REALIZA INVESTIGACIÓN

Contexto Empresarial	País	Referencia
<p>4 artículos</p> <p>Logística de entrada</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5S - Kanban - Mapeo de Flujo de Valor (VSM) 	<p>Producción</p> <p>20 artículos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lean Six Sigma - 5S - JIT - TPM - Mapeo de Flujo de Valor - Balance en línea - SMED - TQM - Sistema Pull 	<p>1 artículo</p> <p>Logística de salida</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5S - JIT - Mapeo de Flujo de Valor - Keizen - Sistema Pull

IV. DISCUSIÓN

En la presente revisión sistemática, se destaca la contribución significativa de las herramientas de Manufactura Esbelta, específicamente el enfoque Lean, al incremento de la productividad en la cadena de suministro. Se evidenció que la aplicación de la metodología de Mapeo de Valor resultó especialmente eficaz al identificar y eliminar los cuellos de botella, generando así un notable aumento del 40% en la productividad. En comparación con investigaciones anteriores, como la llevada a cabo por [32] quienes emplearon herramientas como VSM, 5'S, TPM y Kanban en una empresa metalmeccánica especializada en la fabricación de puertas enrolladas, se observó una mejora significativa. En dicho caso, la implementación de estas herramientas logró una reducción del 6,10% en el tiempo de entrega de los productos, resultando en entregas más rápidas y clientes satisfechos. Así mismo, una empresa especializada en la remodelación de cabinas de cruceros decidió implementar la herramienta Tak Time, con la cual obtuvo resultados notables en términos de productividad y eficiencia. Con esta herramienta, la empresa logró un aumento del 57% en la productividad en comparación con el proceso tradicional. Además, se evidenció una significativa reducción del 73% en los tiempos de entrega de los proyectos [33].

Finalmente, los autores [23] y [30] concuerdan con la referencia [34] que al implementar LM se identificaron diversas barreras. Estas incluyeron la falta de actitud hacia el cambio y la falta de compromiso de asistir a las capacitaciones que la empresa les proporcionaba. Además, se identificó desafíos en la cultura organizacional y la participación de la dirección. A pesar de estos obstáculos, la implementación del modelo obtuvo resultados significativos, como un aumento de más del 15% en la productividad, una reducción de casi el 4,5% en el desperdicio y una disminución del 10% en el número de pedidos paralizados en el proceso productivo. Estos logros demuestran la efectividad del LM, incluso en entornos donde se enfrentan resistencias y desafíos culturales.

V. CONCLUSIONES

Esta investigación ha identificado que el Modelo Lean Manufacturing busca identificar y eliminar los desperdicios que no generan valor en los procesos de una empresa manufacturera, con el objetivo de incrementar la eficiencia y productividad en la cadena de suministro. La implementación de herramientas de LM como Lean Six Sigma, 5S, JIT, PDCA, Kanban, y TPM son fundamentales para el control de inventarios, reducción de costos y la optimización del flujo de información con los clientes y proveedores. Así mismo tener un control de los recursos disponibles para mejorar la planificación de la recepción y entrega de productos. Hay que mencionar que se logró obtener cambios significativos en las industrias metalmeccánicas aumentando la productividad en un 40%. Finalmente, esta revisión puede proporcionar una guía valiosa

para las empresas del sector metalmeccánico que opten por implementar LM, y a la vez conocer los desafíos que pueden surgir al momento de realizar este método.

REFERENCIAS

- [1] N. Orellana-Núñez, M. Puerta-Girón, and C. Leon-Chavarri, "Production management model to reduce late deliveries in a metal-mechanical SME using lean tools," in *Production management model to reduce late deliveries in a metal-mechanical SME using lean tools*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022. doi: 10.18687/LEIRD2022.1.1.133.
- [2] G. L. Tortorella, R. Miorando, and D. Tlapa, "Implementation of lean supply chain: empirical research on the effect of context," *The TQM Journal*, vol. 29, no. 4, pp. 610–623, Jun. 2017, doi: 10.1108/TQM-11-2016-0102.
- [3] J. V. Rodríguez, J. P. Cómbita Niño, K. A. Parra Negrete, D. C. Mercado, and L. A. Fontalvo, "Optimization of the distribution logistics network: a case study of the metalworking industry in Colombia," *Procedia Comput Sci*, vol. 198, pp. 524–529, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2021.12.280.
- [4] J. S. De La Hoz and C. Díaz Sandoval, "Sistema productivo industrial utilizando modelos de manufactura esbelta," *Revista Venezolana de Gerencia*, vol. 28, no. Especial 9, pp. 718–730, Aug. 2023, doi: 10.52080/rvgluz.28.e9.44.
- [5] J. Huamán, J. Llontop, C. Raymundo, and F. Dominguez, "Production Management Model Based on Lean Manufacturing Focused on the Human Factor to Improve Productivity of Small Businesses in the Metalworking Sector," 2020, pp. 847–853. doi: 10.1007/978-3-030-27928-8_128.
- [6] K. Salas-Navarro, J. A. Meza, T. Obredor-Baldovino, and N. Mercado-Caruso, "Evaluation of the supply chain to improve competitiveness and productivity in the metalworking industry in Barranquilla, Colombia | Evaluación de la Cadena de Suministro para Mejorar la Competitividad y Productividad en el Sector Metalmeccánico en Barranqu," *Informacion Tecnologica*, vol. 30, no. 2, pp. 25–32, 2019, doi: 10.4067/S0718-07642019000200025.
- [7] A. Palange and P. Dhattrak, "Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing," *Mater Today Proc*, vol. 46, pp. 729–736, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.193.
- [8] M. H. M. Rusli, A. Jaffar, S. Muhamud-Kayat, and M. T. Ali, "Selection criterion of production methods used in the kanban pull system at Malaysian auto suppliers," in *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, IEEE, Mar. 2015, pp. 1–5. doi: 10.1109/IEOM.2015.7093698.
- [9] J. V. Landa, A. R. Suárez, P. F. Mendoza, and J. C. Alvarez, "Reduction of delivery times in a Peruvian metal-mechanical company," *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, vol. 12, no. 2/3, p. 266, 2020, doi: 10.1504/IJSSCA.2020.110980.
- [10] M. Asmae, A. En-Nadi, and B. Herrou, "The integration of Lean Manufacturing in Supply Chain: principles, wastes and tools," in *2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*, IEEE, Dec. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353896.
- [11] S. L. Takeda Berger, E. M. Frazzon, and A. M. Carreira Danielli, "Pull-production system in a lean supply chain: a performance analysis utilizing the simulation-based optimization," in *2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)*, IEEE, Nov. 2018, pp. 870–874. doi: 10.1109/INDUSCON.2018.8627187.
- [12] B. Jardini, M. El kyal, and M. Amri, "The complexity of Electronic Data Interchange (EDI) compliance for automotive supply chain," in *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE, Dec. 2015, pp. 361–365. doi: 10.1109/IEEM.2015.7385669.
- [13] D. Kruger, "Implementation of Lean Manufacturing in a Small, Medium and Micro Enterprise in South Africa: A Case Study," in *2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, IEEE, Aug. 2018, pp. 1–10. doi: 10.23919/PICMET.2018.8481937.
- [14] K. Boonthonsatit and S. Jungthawan, "Lean supply chain management-based value stream mapping in a case of Thailand automotive industry," in *2015 4th International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, IEEE, May 2015, pp. 65–69. doi: 10.1109/ICALT.2015.7136593.
- [15] K. Marsikova and E. Sirova, "OPTIMIZATION OF SELECTED PROCESSES IN A COMPANY WITH THE SUPPORT OF THE LEAN CONCEPT," *MM Science Journal*, vol. 2018, no. 01, pp. 2300–2305, Mar. 2018, doi: 10.17973/MMSJ.2018_03_2017111.
- [16] C. Rodriguez, G. Viacava, J. Salazar, and J. C. Alvarez Merino, "Improvement in Delivery Times of a Logistic Operator," in *2018 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/CONIITI.2018.8587065.
- [17] Y. Goshime, D. Kitaw, and K. Jilcha, "Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 2, pp. 691–714, Jan. 2019, doi: 10.1108/IJLSS-06-2017-0063.
- [18] C. Jia Yuik and P. Puvanasvaran, "Development of Lean Manufacturing Implementation Framework in Machinery and Equipment SMEs," *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 11, no. 3, pp. 157–169, Sep. 2020, doi: 10.24867/IJIEEM-2020-3-261.
- [19] D. K. Kant and P. Shrutika, "A Case Study on Impact of Value Stream Mapping as a Lean Diagnostic Tool on the operational performance of a Medium Enterprise," in *2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)*, IEEE, Jul. 2020, pp. 47–52. doi: 10.1109/WorldS450073.2020.9210396.
- [20] L. X. X. Xu and F. Y. Wang, "Applying lessons learned from lean implementation for SMEs — Singapore context," in *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, IEEE, Dec. 2017, pp. 654–658. doi: 10.1109/IEEM.2017.8289972.
- [21] R. Iyede, E. F. Fallon, and P. Donnellan, "An exploration of the extent of Lean Six Sigma implementation in the West of Ireland," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 9, no. 3, pp. 444–462, Aug. 2018, doi: 10.1108/IJLSS-02-2017-0018.
- [22] V. Swarnakar, A. K. Tiwari, and A. R. Singh, "Evaluating critical failure factors for implementing sustainable lean six sigma framework in manufacturing organization," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 11, no. 6, pp. 1069–1104, Dec. 2020, doi: 10.1108/IJLSS-05-2019-0050.
- [23] A. Ribeiro de Jesus, J. Antony, H. A. Lepikson, and A. L. A. Peixoto, "Six Sigma critical success factors in Brazilian industry," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 33, no. 6, pp. 702–723, Jan. 2016, doi: 10.1108/IJQRM-08-2014-0120.
- [24] V. Raja Sreedharan and R. Raju, "A systematic literature review of Lean Six Sigma in different industries," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 7, no. 4, pp. 430–466, Oct. 2016, doi: 10.1108/IJLSS-12-2015-0050.
- [25] N. A. A. Rahman, S. M. Sharif, and M. M. Esa, "Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation," *Procedia Economics and Finance*, vol. 7, pp. 174–180, 2013, doi: 10.1016/S2212-5671(13)00232-3.
- [26] C. Monteiro, L. P. Ferreira, N. O. Fernandes, J. C. Sá, M. T. Ribeiro, and F. J. G. Silva, "Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool SMED," *Procedia Manuf*, vol. 41, pp. 555–562, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.09.043.
- [27] M. Rolfens, "A blueprint paradox," *J Qual Maint Eng*, vol. 20, no. 4, pp. 402–414, Oct. 2014, doi: 10.1108/JQME-07-2012-0024.
- [28] G. Xiong, A. Zhao, T. R. Nyberg, and G. Xiong, "Change management on improvement project for success," in *2016 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, IEEE, Jul. 2016, pp. 53–59. doi: 10.1109/SOLI.2016.7551661.
- [29] F. E. Cherqaoui and S. L. Elhaq, "Sustainable framework of Lean manufacturing implementation during supporting programs," in *2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*, IEEE, Dec. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353904.
- [30] Anne Francine Martins, R. Costa Affonso, S. Tamayo, S. Lamouri, and C. Baldy Ngayo, "Relationships between national culture and Lean Management: A literature Review," in *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, IEEE, Oct. 2015, pp. 352–361. doi: 10.1109/IESM.2015.7380183.

- [31] A. N. A. Wahab, M. Mukhtar, and R. Sulaiman, "A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions," *Procedia Technology*, vol. 11, pp. 1292–1298, 2013, doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.327.
- [32] "Applying lean manufacturing in the production process of rolling doors: A case study".
- [33] "Takt time planning in cruise ship cabin refurbishment: Lessons for lean construction".
- [34] F. Schulze and P. Dallasega, "Empirical Validation of Lean Implementation Barriers in Engineer-to-Order Companies: An Exploratory Study," Jul. 2022, pp. 796–807. doi: 10.24928/2022/0192.