

Improving Production Processes in the Metalworking Industry Through the Implementation of Lean and Six Sigma Tools: A Systematic Literature Review

Michael Steve Suaña-Revilla, Bach.^{ORCID}, María Fernanda Mendoza-Vilca, Bach.^{ORCID}, and Gerson Márquez, Ph.D.^{ORCID}
Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19219242@utp.edu.pe, u18204356@utp.edu.pe, gmarquez@utp.edu.pe

Abstract– This Systematic Literature Review focuses on Lean Six Sigma tools for their implementation in the metalworking sector industries. The purpose of this review is to determine the most appropriate Lean Six Sigma tools to improve production processes in metalworking companies. The recent scientific literature on Lean Manufacturing and Six Sigma tools was reviewed, focusing on those most used and that have demonstrated greater benefits for metalworking companies in terms of productivity and reduction of time and waste. The literature search was carried out in 3 scientific databases (Scopus, EBSCOhost, and Scilit), and after applying the PRISMA strategy, 40 relevant documents were obtained for the review. It was evident that Lean Six Sigma tools are useful for reducing time and waste, improving production processes. These tools positively impact performance, reflected in the improvement of productivity and quality of manufactured products. Although 5S is the most used in the metalworking sector, the results found suggest that 5S and SMED are the most effective tools to improve production processes in this industry.

Keywords– Lean Manufacturing, Six Sigma, metalworking industry, productivity, time reduction, waste reduction.

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

Mejora de los Procesos de Producción de la Industria Metalmeccánica Mediante la Implementación de Herramientas Lean y Six Sigma: Una Revisión Sistemática de Literatura

Michael Steve Suaña-Revilla, Bach. , María Fernanda Mendoza-Vilca, Bach. , and Gerson Márquez, Ph.D. 
Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19219242@utp.edu.pe, u18204356@utp.edu.pe, gmarquez@utp.edu.pe

Resumen– Esta Revisión Sistemática de Literatura se enfoca en las herramientas Lean Six Sigma para su implementación en las industrias del sector metalmeccánico. El propósito de esta revisión es determinar las herramientas más adecuadas de Lean Six Sigma para mejorar los procesos de producción en las empresas metalmeccánicas. Se revisó la literatura científica reciente sobre herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma, enfocándose en aquellas más utilizadas y que han demostrado mayores beneficios para las empresas metalmeccánicas en términos de productividad y reducción de tiempos y desperdicios. La búsqueda de literatura se realizó en 3 bases de datos científicas (Scopus, EBSCOhost y Scilit), y tras aplicar la estrategia PRISMA, se obtuvieron 40 documentos pertinentes para la revisión. Se evidenció que las herramientas Lean Six Sigma son útiles para reducir tiempos y desperdicios, mejorando los procesos productivos. Estas herramientas impactan positivamente en el rendimiento, reflejado en la mejora de la productividad y calidad de los productos fabricados. Aunque las 5S son las más utilizadas en el sector metalmeccánico, los resultados encontrados sugieren que las 5S y SMED son las herramientas más efectivas para mejorar los procesos de producción en esta industria.

Palabras clave– manufactura esbelta, Six Sigma, industria metalmeccánica, productividad, Reducción de tiempos, reducción de desperdicios.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, caracterizado por su dinamismo y globalización, las industrias enfrentan la exigencia de proporcionar bienes o productos de alta calidad que satisfagan las demandas del mercado con una variabilidad mínima. Por lo tanto, es imperativo abordar la mejora de los procesos y operaciones industriales mediante la implementación de metodologías, estrategias y herramientas que impulsen el perfeccionamiento de la producción [1].

A nivel mundial, diversas industrias están adoptando las herramientas Lean Six Sigma debido a sus numerosos beneficios en la mejora de los procesos productivos [2]. En la actualidad, la combinación de las metodologías Lean Manufacturing y Six Sigma se posiciona como una de las opciones principales para mejorar los procesos productivos, maximizar la productividad y potenciar las capacidades de producción [3]. Estas metodologías no solo contribuyen a minimizar los desperdicios, sino también a eliminar los tiempos innecesarios que no aportan valor a las operaciones,

permitiendo un control más efectivo del tiempo [4].

Las herramientas Lean Six Sigma están orientadas a mejorar las operaciones productivas y reducir desperdicios, tiempo y costos, sin comprometer la calidad del producto [5]. Es fundamental reconocer que la productividad se logra mediante el uso eficiente de los recursos integrados en las operaciones de producción [5]. En este sentido, la aplicación de herramientas Lean Six Sigma busca impulsar la mejora y el desarrollo de la productividad en la industria, centrándose en la reducción de elementos que no aportan valor a las operaciones y en la optimización de procesos para asegurar la calidad del producto final [6].

Las herramientas Lean Six Sigma permiten a las industrias enfocarse en la mejora continua. Para lograr el éxito en la preservación de la competitividad, es fundamental adoptar un enfoque integral en la mejora de los indicadores clave de rendimiento (KPI) estratégicos [7]. Es importante destacar que existen precedentes que respaldan la mejora de las operaciones mediante el uso de las herramientas proporcionadas por las metodologías Lean Six Sigma, donde analizan y evalúan los resultados de las actividades que inciden en la mejora del proceso de producción [8].

Se han implementado diversas herramientas de Lean Manufacturing con el objetivo de minimizar productos defectuosos, tiempos ineficientes y paradas de equipos, buscando mejorar la producción [9]. Entre estas herramientas se encuentran: 5S [10], Mantenimiento Productivo Total (TPM - Total Productive Maintenance) [11], Mapa de Flujo de Valor (VSM - Value Stream Mapping) [12] y Poka Yoke [13]. Resultados de diversas investigaciones demuestran que la aplicación de estas herramientas proporciona un valor agregado a la producción al reducir los desechos y las operaciones innecesarias [14].

En la industria metalmeccánica, se ha observado un aumento en el rendimiento productivo al implementar herramientas Lean Six Sigma. Por ejemplo, en una empresa se aplicaron estas herramientas en el proceso de fabricación de cerraduras, incluyendo las 5S, TPM y Poka-Yoke, junto con Six Sigma. Esto resultó en una mejora de la productividad del 8 al 12 %, con la reducción de productos defectuosos, tiempos inproductivos y tiempo de inactividad de las máquinas [15].

A partir de la revisión de la literatura existente, se considera de gran interés examinar y analizar los resultados derivados de la implementación de las herramientas Lean Six

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

Sigma para mejorar las actividades de producción en la industria metalmeccánica. El objetivo de la revisión es determinar los enfoques más recientes y las herramientas que han demostrado generar mayores resultados en la mejora de la producción en este sector específico.

En la industria metalmeccánica se han observado deficiencias en las operaciones de producción. Por esta razón, esta revisión de literatura científica busca abordar estas deficiencias y determinar las herramientas Lean Six Sigma más adecuadas para mejorar los procesos de producción en las empresas de este sector.

II. METODOLOGÍA

La investigación de Revisión Sistemática de Literatura (RSL) se llevó a cabo a partir de una pregunta orientadora de la búsqueda de literatura, formulada mediante una adaptación de la estrategia PICO [16]. En esta investigación, "P" se refiere al problema, "I" a la intervención, "C" al contexto y "O" a los resultados esperados. La pregunta orientadora formulada para la RSL fue: ¿Cuáles son las herramientas Lean Six Sigma más adecuadas para mejorar los procesos de producción en la industria metalmeccánica?

En la Tabla I se presentan los componentes de la pregunta PICO, junto con las palabras clave (en inglés) asociadas a cada componente. Estas palabras clave se utilizaron para buscar fuentes de información confiables en bases de datos científicas.

Tabla I
COMPONENTES DE LA PREGUNTA PICO Y PALABRAS CLAVE

Componente PICO		Palabras Clave
P (Problema)	Mejora de procesos de producción	Process improvement, production, production process, industrial process
I (Intervención)	Implementación de herramientas Lean Six Sigma	Lean, Six Sigma, Lean tools, Six Sigma tools
C (Contexto)	Procesos de producción de la industria metalmeccánica	Metalworking, metal mechanics, metalworking industry
O (Resultado)	Mayor eficiencia en los procesos de producción	Optimization, efficiency, improvement, quality improvement

Relacionando las palabras clave mediante los operadores booleanos OR y AND, se elaboró la siguiente ecuación de búsqueda: (“process improvement” OR production OR “production process” OR “industrial process”) AND (Lean OR “Six Sigma” OR “Lean tools” OR “Six Sigma tools”) AND (metalworking OR “metal mechanics” OR “metalworking industry”) AND (optimization OR efficiency OR improvement OR “quality improvement”).

La ecuación de búsqueda se utilizó en las bases de datos Scopus, EBSCOhost y Scilit, obteniendo 565 registros como resultados de la búsqueda. De éstos, 47 corresponden a Scopus, 18 a EBSCOhost y 500 a Scilit.

Para el cribado y selección de las fuentes de información que se incluirían en el desarrollo de la RSL, se siguió el protocolo de la declaración PRISMA [17]. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo PRISMA, que detalla el proceso seguido en la identificación, cribado y selección de los artículos a incluir en la revisión sistemática de literatura.

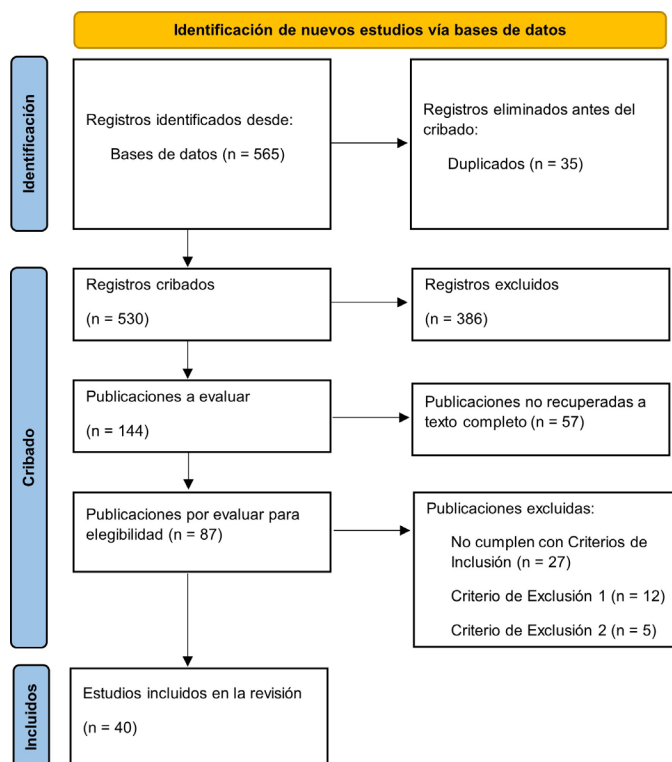


Fig. 1 Diagrama de Flujo PRISMA.

Después de comparar los resultados de la búsqueda en las tres bases de datos, se identificaron y eliminaron 35 registros duplicados. Durante la etapa de cribado de los registros, se excluyeron 386 registros tras revisar los títulos y resúmenes de los estudios, ya que se determinó que no eran pertinentes para la RSL. Además, de los estudios restantes, se excluyeron 57 registros porque no fue posible acceder a los documentos a texto completo de esas fuentes de información.

Para la selección final de las fuentes de información pertinentes para el desarrollo de la RSL, se establecieron criterios de elegibilidad, que incluyen criterios de inclusión (CI) y de exclusión (CE), los cuales se detallan a continuación:

- CI1: Los estudios deben estar relacionados con la industria metalmeccánica.
- CI2: Los estudios deben abordar la implementación de herramientas Lean Six Sigma.
- CI3: Los estudios deben reportar resultados cuantitativos de mejora en los procesos de producción.
- CE1: Documentos publicados antes de 2018.
- CE2: Publicaciones que no sean artículos originales o artículos de conferencias.

- CE3: Publicaciones en idiomas distintos al inglés, español o portugués.

Después de aplicar los criterios de elegibilidad, se seleccionaron 40 documentos para incluir en la revisión sistemática de literatura.

III. RESULTADOS

La manufactura esbelta, también conocida como Lean Manufacturing, es una filosofía de gestión enfocada en la optimización de los procesos de producción para minimizar el desperdicio y maximizar el valor para el cliente. En una industria, la implementación de prácticas Lean busca eliminar actividades que no agregan valor, como tiempos de espera, transporte innecesario o sobreproducción, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la calidad y la flexibilidad de la producción. Mediante la identificación y eliminación de desperdicios, las empresas pueden lograr una mayor productividad y competitividad en el mercado [5]. La manufactura esbelta implica examinar y analizar el flujo de datos y materiales necesarios para producir un bien o un conjunto de productos, con el objetivo de reducir o eliminar los residuos [18].

La manufactura esbelta se ha aplicado en diversas industrias, en áreas como la metalmecánica, automotriz, textil, de electricidad y electrónica, alimentos, construcción, entre otras [9]. En la Tabla II se listan las herramientas de Lean Manufacturing que se utilizan con mayor frecuencia para optimizar y mejorar los procesos de producción en diversos sectores industriales. Entre las herramientas más destacadas se encuentran el VSM, las 5S y el Justo a Tiempo (Just-in-Time), que son las más comunes y utilizadas en la mejora de procesos industriales. Según la literatura científica revisada, las 5S es la herramienta de Lean Manufacturing más utilizada en la industria metalmecánica, seguida de TPM, Poka-Yoke y SLP (Systematic Layout Planning).

Por otro lado, la metodología Six Sigma es un enfoque disciplinado y estadístico que tiene como objetivo mejorar la calidad de los procesos. Esto se logra identificando y eliminando las causas de los defectos o errores, reduciendo los desperdicios de productos y disminuyendo la variabilidad en la producción y los servicios [34]. Six Sigma se fundamenta en un conjunto de herramientas y técnicas estadísticas para medir, analizar, mejorar y controlar los procesos. La herramienta de Six Sigma más utilizada es DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), que ofrece una perspectiva de ingeniería para obtener rendimientos y maximizar la calidad a un bajo costo en los procesos de producción [35]. Particularmente, en industrias del sector metalmecánico se ha utilizado la herramienta DMAIC porque proporciona un procedimiento metodológico adecuado para situaciones en las que las operaciones de mecanizado no son estables. La aplicación de la metodología Six Sigma DMAIC en empresas metalúrgicas ha resultado en mejoras significativas en la eficiencia del sistema de producción y en la reducción de los retrasos en la entrega de pedidos [36].

DMAIC apoya al área logística al mejorar sus operaciones, desde el abastecimiento hasta la entrega de los productos, lo que ayuda a minimizar las demoras. Al aplicar esta herramienta, se garantiza la disponibilidad de los insumos necesarios para la producción, aprovechando al máximo las horas hombre-máquina [37].

TABLA II
HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA ESBELTA UTILIZADAS EN
DIFERENTES SECTORES INDUSTRIALES

Tipo de Industria	Herramientas de Lean Manufacturing más Utilizadas	Referencias
Metalmecánica	<ul style="list-style-type: none"> • 5S • VSM • Just-in-Time • TPM • Poka-Yoke • SLP 	[15], [19], [20]
Automotriz	<ul style="list-style-type: none"> • VSM • 5S • Just-in-Time • Poka-Yoke 	[21], [22]
Textil	<ul style="list-style-type: none"> • Just-in-Time • VSM • 5S • SMED (Single Minute Exchange of Die) 	[23], [24]
Electricidad y electrónica	<ul style="list-style-type: none"> • VSM • Kanban • Poka-Yoke • Jidoka 	[25], [26]
Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> • SMED • VSM • Just-in-Time • 5S 	[27]–[29]
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> • LPS (Last Planner System) • VSM • Just-in-Time • 5S 	[30], [31]
Fabricación de muebles	<ul style="list-style-type: none"> • VSM • 5S • Kanban • Poka-Yoke 	[32], [33]

Numerosos estudios han demostrado que la aplicación de herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma contribuye a mejorar los procesos industriales. En la Tabla III se presentan los beneficios más destacados de las herramientas Lean Six Sigma más implementadas. En particular, las 5S, la herramienta de Lean Manufacturing más utilizada para la mejora de los procesos de producción en la industria metalmecánica, se enfoca en mejorar la organización y limpieza en las estaciones de trabajo, reduciendo el tiempo perdido y facilitando el acceso a herramientas y materiales, lo que contribuye a aumentar la eficiencia y la productividad en las empresas metalmecánicas. Por otro lado, las herramientas de Six Sigma se utilizan para reducir la variabilidad en los

procesos productivos, lo que ayuda a mejorar la calidad y reducir los defectos en los productos.

TABLA III
BENEFICIOS DE LAS HERRAMIENTAS LEAN SIX SIGMA MÁS IMPLEMENTADAS

Herramientas implementadas	Beneficios	Referencias
VSM	<ul style="list-style-type: none"> Permite visualizar y analizar el flujo de trabajo para identificar áreas de mejora. Distribución eficiente del lugar de trabajo. Estandarización de los ciclos en los procesos. 	[12], [19], [29]
5S	<ul style="list-style-type: none"> Busca mejorar la organización y limpieza en el lugar de trabajo. Maximización de la eficiencia operativa. Disminución del tiempo perdido y de la cantidad de desperdicio. 	[19], [38], [39]
Just-in-Time	<ul style="list-style-type: none"> Ayuda a reducir los tiempos de espera, al asegurar que los componentes estén disponibles justo cuando se necesitan. 	[29], [40]
Kaizen	<ul style="list-style-type: none"> Aumenta la competitividad. Disminución de cantidad del desperdicio. 	[41], [42]
Kanban	<ul style="list-style-type: none"> Ayuda en la gestión eficiente del inventario y mantiene un flujo de trabajo constante. 	[43]
Poka-Yoke	<ul style="list-style-type: none"> Busca evitar errores humanos en los procesos productivos mediante la implementación de mecanismos de prevención, garantizando la calidad del producto final. 	[13], [29], [44]
Jidoka	<ul style="list-style-type: none"> Detección y corrección rápida de problemas de calidad mediante la automatización inteligente. 	[45]
LPS	<ul style="list-style-type: none"> Ayuda a planificar y controlar de manera eficiente la ejecución de las tareas. 	[46]
SLP	<ul style="list-style-type: none"> Ayuda a identificar y mejorar el diseño de distribución física de los equipos y materiales en la planta, reduciendo la distancia recorrida y el esfuerzo necesario para transportar materiales. 	[19]
TPM	<ul style="list-style-type: none"> Busca reducir el tiempo de inactividad de las máquinas, mediante la ejecución de mantenimientos preventivos oportunos, evitando desperdiciar horas hombre-máquina. 	[11], [47]
SMED	<ul style="list-style-type: none"> Contribuye a reducir los tiempos improductivos, así como del registro de inventario. Ayuda a optimizar los espacios para el almacenamiento. 	[29], [48]
DMAIC	<ul style="list-style-type: none"> Busca identificar y corregir problemas existentes para la mejora de la calidad y eficiencia de los procesos industriales. 	[35], [36], [49]

Como resultado de la implementación de las herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma en industrias de metalmeccánica, se han obtenido buenos resultados en la minimización de tiempos y la reducción de desperdicios en los procesos de producción. La Tabla IV muestra los resultados de diversos estudios donde se aplicaron herramientas Lean Six Sigma para reducir los tiempos en los procesos de producción en empresas del sector metalmeccánico.

TABLA IV
RESULTADOS DE REDUCCIÓN DE TIEMPOS CON LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN SIX SIGMA EN EMPRESAS DE METALMECÁNICA

Finalidad	Resultados	Referencias
Reducción de tiempos en los procesos de producción	Se logró una reducción de los tiempos en el proceso de producción. Específicamente, aplicando TPM se logró reducir el tiempo de inactividad no programado de las máquinas en un 27 %, y con la implementación de las 5S se redujo el tiempo perdido debido a cambios en el proceso en un 13 %.	[15]
	Con la aplicación de las 5S, SLP y Just-in-Time, se logró reducir los tiempos de espera y transporte de materiales, así como los retrasos por acceso a herramientas. Esto se tradujo en una reducción del 60 % en el tiempo de ciclo del proceso de fabricación de bisagras, lo que contribuyó a un aumento del 10 % en la productividad general de la empresa.	[19]
	La implementación de un modelo que combinaba las metodologías TPM y SMED, junto con la herramienta 5S, resultó en una reducción en los tiempos del proceso productivo. El tiempo de cambio de herramientas se redujo de 24.09 a 12.85 minutos, lo que contribuyó a aumentar la eficiencia general de los equipos al 88.45 %.	[48]
	La implementación de un modelo personalizado basado en herramientas de Lean Manufacturing (5S, Tablero de Gestión Visual y Estandarización del Trabajo) resultó en una reducción de los tiempos en el proceso de producción. Se logró una disminución de 24 minutos en los tiempos de búsqueda, lo que contribuyó a un ahorro del 5.83 % para la empresa.	[50]
	La implementación de VSM y SMED resultó en una reducción en los tiempos en el proceso de soldadura. Se logró una reducción del tiempo de preparación en un 87.7 %, lo que contribuyó a una mejora del 3 % en el tiempo de ciclo y del 4.2 % en la capacidad de producción.	[51]
	Con la implementación de un método de gestión de la producción basado en herramientas de Lean Manufacturing, se logró reducir los tiempos de fabricación a 14.5 minutos, lo que contribuyó a un aumento del 30 % en la productividad y una reducción del 30 % en el nivel de pedidos no cumplidos.	[52]
	La implementación de la metodología Six Sigma DMAIC permitió mejorar la eficiencia operativa y reducir los retrasos en la entrega de pedidos, abordando así los problemas de baja productividad y cumplimiento de entregas a tiempo.	[36]

La Tabla V muestra los resultados cuantitativos de algunos estudios donde se logró reducir los desperdicios o productos defectuosos en los procesos de producción de industrias de metalmecánica mediante la aplicación de herramientas Lean Six Sigma.

TABLA V
RESULTADOS DE REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS CON LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN SIX SIGMA EN EMPRESAS DE METALMECÁNICA

Finalidad	Resultados	Referencias
Reducción de desperdicios en los procesos de producción	Con la implementación de herramientas de Six Sigma y Poka-Yoke se logró reducir los productos defectuosos en un 3 %, lo que indica una mejora significativa en la calidad de los productos fabricados.	[15]
	La implementación de herramientas de Lean Manufacturing permitió reducir los desperdicios en un 4 %.	[53]
	La aplicación de herramientas de Lean Manufacturing como SMED, TPM y 5S permitieron lograr una reducción entre el 20 y el 21 % en la tasa de productos defectuosos, junto con un aumento del 8 % en la eficiencia general de los equipos.	[54]

En la literatura revisada, se encuentran trabajos que, aunque no reportan resultados cuantitativos sobre la disminución de desperdicios, resaltan la importancia de Lean Manufacturing para reducir desperdicios y mejorar la eficiencia en empresas metalúrgicas, mediante la aplicación de diferentes herramientas y enfoques metodológicos. Por ejemplo, en [55] se centraron en la problemática general de las pymes metalúrgicas en Sudamérica y propusieron una combinación de herramientas de Lean Manufacturing como Poka-Yoke y las 5S para incrementar la eficiencia productiva de las empresas metalmeccánicas, logrando una disminución en los productos defectuosos que permitió obtener una mejora de la eficiencia del 24.22 %. En [56] se reporta cómo la implementación de TPM ha mejorado la eficiencia y el cumplimiento de las entregas de producción de una empresa metalmeccánica, encontrando una reducción de los productos defectuosos. En [20] se enfocan en el diseño de estrategias específicas de Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia en líneas de producción de una empresa metalúrgica, utilizando herramientas como VSM, análisis de Pareto y diagramas de Ishikawa para identificar problemas y desarrollar soluciones, obteniendo reducciones de residuos generadas por cada estrategia implementada.

IV. DISCUSIÓN

En la revisión realizada, se ha observado que diversos autores coinciden en que las herramientas Lean Six Sigma son muy útiles para reducir tiempos y/o desperdicios, mejorando así los procesos operativos. Esto conduce a un aumento de la productividad, el desarrollo y la mejora de los procesos, la mano de obra y otros recursos de la empresa, lo que la hace más competitiva.

En diversos estudios sobre la aplicación de Lean Six Sigma en empresas de varios sectores, se ha observado que el uso de herramientas de Lean Manufacturing ha conducido a mejoras significativas en la productividad. Por ejemplo, en una investigación donde se llevó a cabo la reingeniería de una línea de ensamblaje en el sector agrícola, y se implementaron herramientas de Lean Manufacturing como Poka-Yoke para evitar errores en el ensamblaje, se logró un aumento en la productividad de entre un 46 % y un 80 % [44]. Sin embargo, en otros casos, la mejora en la productividad ha sido más modesta. Por ejemplo, en un trabajo donde implementaron herramientas de Lean Manufacturing como las 5S y Kaizen en una empresa de calzado, lograron un impacto en todas las áreas operativas y administrativas de la empresa estudiada, lo que resultó en una mejora continua del rendimiento, con aumentos en la productividad del 30 al 38 % [57].

En el ámbito de la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en empresas de metalmeccánica, destacan varios estudios. Por ejemplo, Carranza-Inga *et al.* [15] se centraron en mejorar la baja productividad de una empresa mediante la implementación de herramientas de Lean Manufacturing en la línea de fabricación de cerraduras. Utilizaron herramientas como las 5S, TPM, Poka-Yoke y Six Sigma para reducir productos defectuosos, tiempos improductivos y paradas de máquinas, logrando un aumento del 9.6 % en la productividad de la empresa. Por otro lado, Jara *et al.* [19] implementaron herramientas como las 5S, SLP y Just-in-Time para abordar problemas como baja productividad y largos tiempos de espera. Como resultado, lograron un aumento del 10 % en la productividad en la fabricación de bisagras. Además, se mejoró la organización y eficiencia en las estaciones de trabajo, reduciendo el tiempo de espera para acceder a herramientas y materiales, así como la distancia y el esfuerzo necesarios para transportar los materiales.

Los resultados de los estudios revisados indican que la implementación efectiva de Lean Manufacturing puede tener un impacto significativo en la productividad y eficiencia de las empresas del sector metalmeccánico. Las variaciones en las mejoras observadas en diferentes investigaciones pueden atribuirse a la eficacia de las herramientas empleadas, así como a una implementación adecuada y un análisis preciso de los procesos y operaciones críticas [44].

En cuanto a las herramientas Six Sigma, DMAIC se ha destacado por su eficacia en la mejora de los procesos de producción en la industria metalmeccánica [36]. DMAIC representa un enfoque novedoso para el manejo y control de la calidad, así como para el desarrollo continuo de las operaciones. Ofrece una solución sistemática especialmente útil en operaciones de mecanizado, que suelen ser inestables debido a diversos factores limitantes [49]. La implementación de herramientas Six Sigma en la industria metalmeccánica ha demostrado efectos positivos, incluyendo una reducción de más del 50 % tanto en el reprocesamiento debido a errores humanos como en los costos generados por la mala calidad de los productos [1].

V. CONCLUSIONES

En la literatura revisada se encuentra que se han investigado principalmente mejoras en la producción mediante la implementación combinada de dos o más herramientas Lean Six Sigma. Los resultados de estos estudios sugieren que la aplicación conjunta de varias herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma es una buena alternativa para mejorar los procesos de producción en empresas metalmeccánicas. Sin embargo, es difícil encontrar información en los artículos de estas investigaciones sobre qué herramienta ha contribuido más a la mejora lograda y en qué medida lo ha hecho.

Los estudios revisados sobre la implementación de herramientas lean Six Sigma en la industria metalmeccánica, cuyos principales resultados se presentaron en la Tabla IV, resaltan la efectividad de herramientas como las 5S, TPM, SMED, VSM y Just-in-Time en la reducción de tiempos y mejora de la productividad. Entre los resultados más destacados se encuentra la reducción de tiempos en un 87.7 % mediante la implementación de VSM y SMED [51]. Esta reducción significativa se tradujo en una mejora del 3 % en el tiempo de ciclo y del 4.2 % en la capacidad de producción. Por otro lado, el resultado menos significativo en términos de reducción de tiempos de producción se observó en un estudio que aplicó un modelo personalizado basado en herramientas de Lean Manufacturing, como las 5S, el Tablero de Gestión Visual y la Estandarización del Trabajo [50]. Con la implementación de estas herramientas, sólo se logró una disminución de 24 minutos en los tiempos de búsqueda, lo que representó un ahorro del 5.83 % para la empresa.

En relación con la reducción de desperdicios generada por la aplicación de herramientas de Lean Manufacturing, según se presenta en la Tabla V, se destaca una disminución del 20 al 21 % en la tasa de productos defectuosos, acompañada de un aumento del 8 % en la eficiencia general de los equipos. Estos resultados se lograron mediante la aplicación de herramientas como las 5S, TPM y SMED [54]. La mejora obtenida indica que estas herramientas no solo ayudan a reducir los desperdicios y productos defectuosos, sino que también aumentan la eficiencia de los procesos, lo que se traduce en una mayor calidad en los productos fabricados.

Según los resultados de mejora de la productividad y reducción de tiempos y desperdicios encontrados en la literatura revisada, las herramientas 5S y SMED han demostrado ser las más efectivas. Por lo tanto, estas dos herramientas Lean Six Sigma serían las más adecuadas para mejorar los procesos de producción en la industria metalmeccánica.

Por otro lado, un aspecto importante a tener en cuenta es la contribución a la reducción del impacto medioambiental que resulta de la aplicación de las herramientas Lean Six Sigma para la mejora de los procesos industriales. El uso de estas herramientas no solo afecta positivamente la producción, generando resultados de alto valor agregado, sino que también puede ser beneficioso para el medio ambiente al reducir los desperdicios, lo que a su vez conduce a una disminución en las emisiones debido a un menor consumo de energía [6].

Las herramientas Lean Six Sigma permiten detectar y corregir fallas en los procesos, tiempos y movimientos innecesarios, operaciones no óptimas y desperdicios. El principal objetivo es tomar medidas inmediatas para corregir errores, lo que permite mejorar eficientemente la calidad de los productos.

Según el análisis de la literatura revisada, se ha determinado que la implementación de las herramientas Lean Six Sigma en las industrias ha tenido un efecto positivo en la productividad. Además, se han encontrado soluciones óptimas para mejorar los procesos y reducir los desechos y tiempos innecesarios.

La herramienta Lean Six Sigma más utilizada para mejorar los procesos en la industria metalmeccánica es las 5S, seguida por TPM, Poka-Yoke y SLP. Los resultados de la literatura científica revisada indican que las 5S y SMED son las herramientas más adecuadas para la mejora de los procesos de producción en industrias del sector metalmeccánico.

Cada una de las herramientas Lean Six Sigma desempeña un papel importante en la mejora de los procesos, por lo que la elección de la herramienta adecuada depende del problema o la deficiencia específica en los procesos de producción. Sin embargo, considerando que los mejores resultados se han logrado con la aplicación combinada de varias herramientas, entre las que se han encontrado las 5S o SMED, para maximizar la mejora en los procesos de producción en la industria metalmeccánica, se podría optar por aplicar las herramientas 5S y SMED en conjunto.

REFERENCIAS

- [1] G. Díaz-Ruiz and M. Trujillo-Gallego, "A Six Sigma and System Dynamic Integration for Process Variability Reduction in Industrial Processes," *Int. J. Qual. Res.*, vol. 16, no. 4, pp. 1149–1178, Nov. 2022, doi: 10.24874/IJQR16.04-13.
- [2] G. D. Pardamean Gultom and E. Wibisono, "A framework for the impact of lean six sigma on supply chain performance in manufacturing companies," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 528, no. 1, p. 012089, May 2019, doi: 10.1088/1757-899X/528/1/012089.
- [3] J. Betancourt González, "Aplicación de Lean Six Sigma en la logística," *Rev. Invest. Multidisciplinaria CTSCAFE*, vol. 4, no. 10, pp. 9–19, Sep. 2020.
- [4] K. Syahputri, R. M. Sari, Anizar, I. R. Tarigan, and I. Siregar, "Application of lean six sigma to waste minimization in cigarette paper industry," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Feb. 2018, vol. 309, no. 1, p. 012027, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012027.
- [5] L. Padilla, "Lean Manufacturing Manufactura Esbelta/Ágil," *Rev. Ing. Prim.*, vol. 15, no. 15, pp. 64–69, 2010.
- [6] A. Shokri and G. Li, "Green implementation of Lean Six Sigma projects in the manufacturing sector," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 11, no. 4, pp. 711–729, Jun. 2020, doi: 10.1108/IJLSS-12-2018-0138/FULL/XML.
- [7] M. Sagan, "Importance of Holistic Approach of Assembly Production Transformation in Manufacturing with Value Stream Mapping," *Manuf. Technol.*, vol. 18, no. 1, pp. 112–116, Feb. 2018, doi: 10.21062/ujep/62.2018/a/1213-2489/MT/18/1/112.
- [8] A. Ludeña Ramos, K. Vargas Cermeño, C. C. Elias Giordano, C. L. Torres-Sifuentes, and C. Cespedes, "Production process improvement model to increase productivity by applying Lean Six Sigma methodologies and Lean tools in a Peruvian pastry MSE," in *Proceedings of the 3rd LACCEI International Multiconference on*

- Entrepreneurship, Innovation and Regional Development (LEIRD 2023)*, 2023, doi: 10.18687/LEIRD2023.1.1.510.
- [9] S. Vinodh, *Lean Manufacturing*. New York: CRC Press, 2022.
- [10] M. Bukhsh et al., "Productivity improvement in textile industry using lean manufacturing practices of 5S & single minute die exchange (SMED)," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Jan. 2021, pp. 7374–7385.
- [11] P. Ondra, "The Impact of Single Minute Exchange of Die and Total Productive Maintenance on Overall Equipment Effectiveness," *J. Compet.*, vol. 14, no. 2, pp. 113–132, Sep. 2022, doi: 10.7441/joc.2022.03.07.
- [12] S. Rahima Shabeen and K. Aravind Krishnan, "Application of lean manufacturing using value stream mapping (VSM) in precast component manufacturing: A case study," *Mater. Today Proc.*, vol. 65, pp. 1105–1111, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.159.
- [13] B. D. de Souza Silva, N. A. de Sousa Sampaio, J. W. de Jesus Silva, and B. Bastos da Fonseca, "Implementation of Poka-Yoke System in an Automotive Company," *Int. J. Res. Stud. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 26–32, 2018.
- [14] D.-M. Nguyen and T.-K. Duong, "Enterprises Characteristics and Lean Outcome: An Empirical Evidence from Vietnam Manufacturing Enterprises," *Manag. Syst. Prod. Eng.*, vol. 30, no. 2, pp. 98–108, Jun. 2022, doi: 10.2478/mspe-2022-0013.
- [15] I. Carranza Inga, E. Villayzan Palomino, E. Altamirano, and C. Del Carpio, "Improvement Model Based on Four Lean Manufacturing Techniques to Increase Productivity in a Metalworking Company," in *2021 The 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, Jan. 2021, pp. 95–99, doi: 10.1145/3447432.3447442.
- [16] C. M. da Costa Santos, C. A. de Mattos Pimenta, and M. R. Cuce Nobre, "The PICO strategy for the research question construction and evidence search," *Rev. Lat. Am. Enfermagem*, vol. 15, no. 3, pp. 508–511, Jun. 2007, doi: 10.1590/S0104-11692007000300023.
- [17] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, Mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [18] M. A. Habib, R. Rizvan, and S. Ahmed, "Implementing lean manufacturing for improvement of operational performance in a labeling and packaging plant: A case study in Bangladesh," *Results Eng.*, vol. 17, p. 100818, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100818.
- [19] B. Jara, S. Calderon, and E. Avalos-Ortecho, "Application of Lean Manufacturing to Increase Productivity of a Company in the Metalworking Sector," in *Advances in Transdisciplinary Engineering*, Jul. 2023, vol. 35, pp. 740–753, doi: 10.3233/ATDE230102.
- [20] V. Valle Mercado, D. Benitez Acosta, D. Neira Rodado, J. Cabarcas Reyes, A. Piñeres Castillo, and G. L. Tortorella, "Design of lean manufacturing-based strategies to improve the production process of a metalworking company," *Int. J. Serv. Oper. Manag.*, vol. 38, no. 4, pp. 566–593, 2021, doi: 10.1504/IJSOM.2021.114251.
- [21] J. C. Quiroz-Flores, J. P. Pineda, W. Q. Anis, and N. S., "Enhancement of On-time Delivery Maintenance Services by Lean Manufacturing Tools in an Automotive Industry," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 71, no. 5, pp. 372–385, May 2023, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V71I5P238.
- [22] J. Singh and H. Singh, "Application of lean manufacturing in automotive manufacturing unit," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 11, no. 1, pp. 171–210, Jan. 2020, doi: 10.1108/IJLSS-06-2018-0060.
- [23] S. Mejia Carrera and J. Rau Alvarez, "Análisis y propuesta de mejora para la implementación de herramientas de manufactura esbelta en la línea de confecciones de una empresa textil," in *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.236.
- [24] S. Saravanan, C. Partha Sarathi, S. Nallusamy, and V. Kumar, "A Proposed Model for Productivity Improvement by Implementation of Lean Manufacturing Techniques in a Textile Industry," *Int. J. Mech. Eng.*, vol. 10, no. 8, pp. 31–48, Sep. 2023, doi: 10.14445/23488360/IJME-V10I8P104.
- [25] C. K. Xian Lin, S. A. Helmi, M. Hisjam, and A. Ali, "Implementation of lean manufacturing in an electronic assembly company," in *AIP Conference Proceedings*, Apr. 2020, vol. 2217, p. 030198, doi: 10.1063/5.0000971.
- [26] A. N. N. Kamar and C. J. Kie, "Using discrete event simulation to evaluate the performance of lean manufacturing implementation: A case study of an electronic manufacturer company," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Jan. 2018, vol. 2018-March, p. 426.
- [27] E. Psomas and C. Deliou, "Lean manufacturing practices and industry 4.0 technologies in food manufacturing companies: the Greek case," *Int. J. Lean Six Sigma*, Dec. 2023, doi: 10.1108/IJLSS-06-2023-0098.
- [28] G. Garcia-Garcia, Y. Singh, and S. Jagtap, "Optimising Changeover through Lean-Manufacturing Principles: A Case Study in a Food Factory," *Sustainability*, vol. 14, no. 14, p. 8279, Jul. 2022, doi: 10.3390/su14148279.
- [29] M. del R. Quesada Castro and J. G. Arrieta Posada, "Implementation of lean manufacturing techniques in the bakery industry in Medellin," *Gestão & Produção*, vol. 26, no. 2, p. e2505, May 2019, doi: 10.1590/0104-530x-2505-19.
- [30] J. Du, J. Zhang, D. Castro-Lacouture, and Y. Hu, "Lean manufacturing applications in prefabricated construction projects," *Autom. Constr.*, vol. 150, p. 104790, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.AUTCON.2023.104790.
- [31] K. Y. Kulakov, A. K. Orlov, and V. S. Kankhva, "Evaluation of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies Effectiveness for Increasing Labour Productivity in Construction," *Systems*, vol. 11, no. 12, p. 570, Dec. 2023, doi: 10.3390/systems11120570.
- [32] A. Susanty, L. S. Sumiyati, S. Syaiful, and Z. Nihlah, "The impact of lean manufacturing practices on operational and business performances at SMES in the wooden furniture industry," *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 13, no. 1, pp. 203–231, Jan. 2022, doi: 10.1108/IJLSS-08-2020-0124.
- [33] D. Guzel and A. Shahbazzpour Asiabi, "Increasing Productivity of Furniture Factory with Lean Manufacturing Techniques (Case Study)," *Teh. Glas.*, vol. 16, no. 1, pp. 82–92, Feb. 2022, doi: 10.31803/tg-20211010121240.
- [34] D. C. Montgomery and W. H. Woodall, "An Overview of Six Sigma," *Int. Stat. Rev.*, vol. 76, no. 3, pp. 329–346, 2008, doi: 10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x.
- [35] M. Ly Duc and M. Nguyen Thu, "Application of Lean Six Sigma for Improve Productivity at The Mechanical Plant. A Case Study," *Manuf. Technol.*, vol. 22, no. 2, pp. 124–138, May 2022, doi: 10.21062/mft.2022.028.
- [36] A. Espinoza-Cuadros, M. Criollo Marcavillaca, P. Mendoza-Vargas, and J. Alvarez, "Production Model for the Reduction of Order Delivery Time in a Peruvian Metalworking Company Based on the Six Sigma DMAIC Methodology," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, vol. 1253, pp. 606–611, doi: 10.1007/978-3-030-55307-4_92.
- [37] O. Benmoussa, "Improving Replenishment Flows Using Simulation Results: A Case Study," *Logistics*, vol. 6, no. 2, p. 34, May 2022, doi: 10.3390/logistics6020034.
- [38] C. A. Salazar Sandoval, H. P. J. Ore Quiroz, B. J. Benavides Alvarado, Y. A. Delgado Calderón, and L. Pantoja-Tirado, "Metodología 5S, alternativa viable en la mejora de procesos de la industria alimentaria," *TAYACAJA*, vol. 3, no. 2, Nov. 2020, doi: 10.46908/riect.v3i2.116.
- [39] K. M. Seddik, "The Impact of 5S Strategy on the Safety Climate & Productivity at Egyptian Garment Firms (Assembly Plants)," *Open J. Bus. Manag.*, vol. 07, no. 02, pp. 1072–1087, Feb. 2019, doi: 10.4236/ojbm.2019.72073.
- [40] S. Demir and T. Paksoy, "Just-in-Time and Lean Management," in *Smart and Sustainable Operations and Supply Chain Management in Industry 4.0*, Boca Raton: CRC Press, 2023, pp. 223–236.
- [41] H. M. Shukla and K. D. Ganvir, "Implementation of Kaizen and 5S in Plastic Pipe Manufacturing Unit," *Int. J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 11–18, Jun. 2018, doi: 10.30954/2322-0465.1.2018.2.
- [42] R. Miranda and F. C. Pierre, "Planejamento e Controle da Produção com Filosofia Kaizen: um Estudo de Caso em um Setor de Montagem Mecânica," *Tekhne e Logos*, vol. 10, no. 1, pp. 55–66, Apr. 2019.
- [43] F. Rodrigues do Nascimento, A. Gonçalves dos Santos, L. A. da Fonseca Júnior, and D. Marques Nunes, "Application of Lean Six Sigma to Reduce Delays in Engineering Changes," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 71, pp. 2786–2799, 2024, doi: 10.1109/TEM.2022.3199388.
- [44] M. Martinelli, M. Lippi, and R. Gamberini, "Poka Yoke Meets Deep Learning: A Proof of Concept for an Assembly Line Application," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 21, p. 11071, Nov. 2022, doi: 10.3390/app122111071.

- [45] J. C. Quiroz-Flores, I. F. Varas, and A. Ali, "Lean Six Sigma Methodology to Reduce Excess Wastage in a Brickyard: A Case Study," *South African J. Ind. Eng.*, vol. 34, no. 2, pp. 92–105, 2023, doi: 10.7166/34-2-2865.
- [46] T. Govindasamy and M. C. Bekker, "Lean construction: Implementing the Last Planner System on mining projects," *J. South. African Inst. Min. Metall.*, vol. 124, no. 1, pp. 15–24, Feb. 2024, doi: 10.17159/2411-9717/1695/2024.
- [47] A. P. Obeso Alfaro, J. J. Yaya Sarmiento, and R. C. Chucuya Huallpachoque, "Implementación del Mantenimiento Productivo Total en la mejora de la productividad y mantenibilidad del proceso de harina de pescado," *INGnosis*, vol. 5, no. 2, pp. 126–138, Jan. 2020, doi: 10.18050/ingnosis.v5i2.2334.
- [48] J. A. Zegarra-Silva, M. A. Caceres-Larco, and A. Flores-Perez, "Improvement proposal to increase the OEE in a mechanical press in the metalworking sector through SMED and TPM," in *2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, Oct. 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/CONIITI161170.2023.10324265.
- [49] P. Li, P. Jiang, and G. Zhang, "An Enhanced DMAIC Method for Feature-Driven Continuous Quality Improvement for Multi-Stage Machining Processes in One-of-a-Kind and Small-Batch Production," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 32492–32503, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2900461.
- [50] L. Del Rosario-Malasquez, E. Dulce-Meneses, G. Viacava-Campos, and L. Cardenas, "A production process efficiency improvement model at a MSME Peruvian metalworking company," in *AIP Conference Proceedings*, Jan. 2023, vol. 2613, no. 1, p. 020012, doi: 10.1063/5.0119648.
- [51] E. H. Bolaños Valencia, Y. Salvatierra García, G. Quispe Santivañez, and E. Castañeda, "Production Management Model to Reduce Cycle Times Using Lean Manufacturing in a Company in the Metalworking Sector," in *2022 8th International Conference on Information Management (ICIM)*, Mar. 2022, pp. 182–185, doi: 10.1109/ICIM56520.2022.00040.
- [52] D. Portugal-Picon, M. Villavicencio-Arriola, M. Cano-Lazarte, and C. Raymundo, "Production Management Method Based on Agile Approach and Lean Manufacturing Tools to Increase Production Levels in Peruvian Metalworking MSMEs," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 319, pp. 667–675, doi: 10.1007/978-3-030-85540-6_84.
- [53] X. CusiHuallpa-Vera, E. Suarez-Montes, J. Quiroz-Flores, and J. Alvarez, "Improvement of the Manufacturing of Aluminum Pots Using Lean Manufacturing Tools," in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, vol. 1253, pp. 499–505, doi: 10.1007/978-3-030-55307-4_76.
- [54] J. C. Quiroz-Flores and M. F. Collao-Díaz, "Production model using Lean Manufacturing tools applied in a continuous production line of a Peruvian metalworking company," in *2022 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, Oct. 2022, pp. 1–4, doi: 10.1109/CONIITI157704.2022.9953698.
- [55] B. Bringas-Fernandez, M. Carrion-Reyes, E. Altamirano-Flores, and G. Viacava-Campos, "Model to Increase the Production Efficiency of Low-Pressure Regulators through the Combined Use of Lean Tools at a Metalworking SME," in *2022 8th International Conference on Information Management (ICIM)*, Mar. 2022, pp. 141–145, doi: 10.1109/ICIM56520.2022.00032.
- [56] B. Cordova-Matias, M. Palacios-Molina, and A. Flores-Perez, "Model to Increase Compliance With Deliveries of Metal Structures Using TPM Tools in a Metalworking Company," in *2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI)*, Oct. 2023, pp. 1–6, doi: 10.1109/CONIITI161170.2023.10324027.
- [57] S. E. Munive Silvestre, V. D. Paucar Chaicha, J. C. Alvarez Merino, and S. Nallusamy, "Implementation of a Lean Manufacturing and SLP-based system for a footwear company," *Production*, vol. 32, p. e20210072, May 2022, doi: 10.1590/0103-6513.20210072.