

Ergo - Lean implementation to increase productivity in industrial companies: Systematic Literature Review

Gianela L. Martinez-Maquera¹; Luigi A. Santamaria-Tantavilca²; Ruben A. Figueroa-León³; David M. Melgarejo-Aliaga⁴

^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial, Lima-Perú,
U21300531@utp.edu.pe, U20247227@utp.edu.pe, C28920@utp.edu.pe, C25996@utp.edu.pe

Abstract – This study explores the combination of Lean Manufacturing with ergonomic practices to improve both productivity and the work environment in the industrial sector. A systematic literature review was conducted following the PRISMA methodology. The search was carried out in the Scopus database using a search equation that combined terms related to Lean and ergonomics. 50 articles were obtained for analysis, after using the inclusion and exclusion criteria carefully applied. The main findings indicate that 62% of the methodologies used are based on Lean Manufacturing and 24% on ergonomic practices. The most commonly used tools include Value Stream Mapping (VSM), REBA, RULA and Kaizen. These practices have been shown to reduce cycle times, improve operational efficiency, and decrease ergonomic risks. The studies highlight that the combination of these methodologies improves both productivity and worker well-being. Furthermore, the integration of both offers significant benefits, although it also poses challenges. The simultaneous implementation of both methodologies is crucial to eliminate waste and improve working conditions. However, a lack of representation of qualitative studies and research in certain industrial sectors was observed. Tools such as VSM and ergonomic assessments are effective in reducing waste and improving occupational health. Additional studies are recommended to validate these findings in various industrial contexts and to further explore the interaction between both methodologies.

Implementación Ergo - Lean para incrementar la productividad en empresas industriales: Revisión Sistemática de Literatura

Gianela L. Martinez-Maquera¹; Luiggi A. Santamaria-Tantavilca²; Ruben A. Figueroa-León³; David M. Melgarejo-Aliaga⁴

^{1,2,3,4}Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial, Lima-Perú,
U21300531@utp.edu.pe, U20247227@utp.edu.pe, C28920@utp.edu.pe, C25996@utp.edu.pe

Resumen– Este estudio explora la combinación de Lean Manufacturing con prácticas ergonómicas para mejorar tanto la productividad y con ello el ambiente laboral en el sector industrial. Se realizó una revisión sistemática de literatura siguiendo la metodología PRISMA. La búsqueda se efectuó en la base de datos Scopus utilizando una ecuación de búsqueda que combinaba términos relacionados con Lean y ergonomía. Se tuvo como resultado 50 artículos para el análisis, después de usar los criterios de inclusión y exclusión aplicados minuciosamente. Los principales hallazgos indican que el 62% de las metodologías empleadas se basan en Lean Manufacturing y el 24% en prácticas ergonómicas. Las herramientas más utilizadas incluyen Value Stream Mapping (VSM), REBA, RULA y Kaizen. Estas prácticas demostraron reducir tiempos de ciclo, mejorar la eficiencia operativa y disminuir riesgos ergonómicos. Los estudios resaltan que la combinación de estas metodologías mejora tanto la productividad como el bienestar de los trabajadores. Asimismo, la integración de ambas ofrece beneficios significativos, aunque también plantea desafíos. La implementación simultánea de ambas metodologías es crucial para eliminar desperdicios y mejorar las condiciones laborales. Sin embargo, se observó una falta de representación de estudios cualitativos y de investigaciones en ciertos sectores industriales. Herramientas como VSM y evaluaciones ergonómicas son efectivas para reducir desperdicios y mejorar la salud laboral. Se recomienda realizar estudios adicionales para validar estos hallazgos en diversos contextos industriales y explorar más a fondo la interacción entre ambas metodologías. Palabras clave-- esbelta, mejora continua, factor humano, ergonomía, industria.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria manufacturera se ha visto obligada a maximizar la producción con recursos mínimos [1]. Una de las estrategias más transformadoras en este contexto ha sido el Lean Manufacturing, que ha demostrado llevar a las empresas a alcanzar niveles elevados de eficiencia productiva. Mientras, según [2], el Lean Manufacturing ha evidenciado su capacidad para ajustarse a las necesidades dinámicas de las organizaciones, lo que ha permitido su continua implementación. En este sentido, hay una creciente necesidad de ajustar las estrategias de gestión para mejorar constantemente el desempeño de las organizaciones. Esto implica enfocarse en reducir la variabilidad y eliminar los desperdicios que no aportan valor, mientras se optimiza el flujo de los procesos. Para alcanzar estos objetivos, muchas

organizaciones recurren a la implementación de prácticas de mejora continua, que permiten adaptarse a las exigencias del mercado y mantener un rendimiento óptimo [3].

La implementación de principios Lean en un entorno de fabricación se ha convertido en una estrategia popular para reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia operativa. Sin embargo, esta implementación puede aumentar la presión sobre los trabajadores, quienes se ven obligados a mantener altos niveles de productividad y calidad bajo tiempos ajustados [4]. Esta presión puede incrementar el estrés laboral y potencialmente tiene mayor riesgo de errores y accidentes. Según [5], además, aborda eficazmente el desafío descrito, ya que propone la integración de herramientas ergonómicas junto con principios de Lean Manufacturing. Las herramientas como RULA y REBA serán fundamentales para evaluar el ambiente laboral y ajustar la antropometría, aspectos esenciales para esta investigación. Paralelamente, el enfoque Kaizen, central en las metodologías lean, incluyendo el uso de las 5S, será crucial para identificar y mitigar los costos adicionales asociados con cualquier cambio implementado [6].

La ergonomía ha evolucionado de un enfoque correctivo hacia uno preventivo y proactivo, adaptando el trabajo al ser humano desde su diseño [7]. Esta transformación ha permitido que metodologías como Ergo-Lean, que combinan principios ergonómicos con los de manufactura esbelta, surjan como soluciones integrales en entornos industriales [11]. Además, se ha adoptado una visión multifactorial que incorpora factores físicos, cognitivos y organizativos, demostrando que productividad y bienestar no son excluyentes [1].

Esta revisión, se justifica en la necesidad de una mayor investigación, para adaptar y optimizar estos modelos según las particularidades regionales y sectoriales, de tal manera que permitan asentar las bases entorno a la literatura científica con las mejores propuestas tecnológicas que permitan incrementar la productividad en las empresas industriales.

El objetivo principal de esta revisión consiste en explorar y sintetizar el conocimiento existente sobre la implementación conjunta de Lean Manufacturing y prácticas ergonómicas en el sector industrial. Se pretende identificar las herramientas y

métodos más utilizados, evaluar los beneficios y desafíos de esta integración y proporcionar recomendaciones prácticas para su aplicación efectiva en diversos contextos industriales.

En ese escenario, la sección 2 de metodología, muestra los métodos usados en la RSL, como la estrategia PICO, preguntas orientadoras, palabras clave y sus relaciones; además, la ecuación de búsqueda, los criterios de elegibilidad y el proceso de selección de estudios, que concluye con el diagrama de flujo PRISMA, luego la sección 3 de resultados, presenta los principales hallazgos obtenidos sobre Lean Manufacturing y prácticas ergonómicas en el sector industrial. En la sección 4, la discusión muestra la interpretación de los hallazgos. Finalmente, la sección 5, conclusiones, responde al objetivo general, sintetiza los principales hallazgos, muestra las limitaciones y brinda recomendaciones para futuras investigaciones.

II. METODOLOGÍA

Este trabajo se fundamenta en la metodología de revisión bibliográfica, reconocida por su capacidad para localizar y valorar las contribuciones de diversos autores [3]; su enfoque se concentra en la integración de los conceptos de ergonomía y sostenibilidad, presentando un marco de trabajo basado en LDA (Latent Dirichlet allocation), acompañado de una metodología detallada y una guía práctica para su implementación. En primer lugar, se tuvo en cuenta los componentes PICO junto con las palabras claves en inglés (Tabla I). Luego, la Tabla II, permitió tener una mejor noción de la pregunta general y específicas, iniciando con el problema que abarca la falta de eficacia en la producción; el segundo componente, intervención, menciona las metodologías, el tercer componente comparación no se aplica, el penúltimo componente resultados, abordó los niveles de eficacia en la producción y el componente contexto estuvo enfocado en empresas industriales.

TABLA I
PALABRAS CLAVE

Palabra clave (español)	Palabra clave (inglés)
Esbelta	Lean
Mejora continua	Continuous improvement
Factor humano	Human factor
Ergonomía	Ergonomics
Industria	Industry

A continuación, la Tabla II, muestra las preguntas orientadoras de acuerdo con cada componente PICO.

TABLA II
PREGUNTAS ORIENTADORAS

Pregunta general		¿Qué metodologías se utilizan para determinar los niveles de eficacia en la producción de una empresa industrial?
Preguntas específicas	Problema Falta de eficacia	¿Qué ocasiona la falta de eficacia en la producción?
	Intervención Metodologías	¿Qué metodologías se han empleado para el incremento de productividad?
	Comparación	No se considera
	Resultados Niveles de eficacia	¿Qué niveles de eficacia se han alcanzado con estos métodos y qué obstáculos se han encontrado en su implementación?
	Contexto Empresas industriales	¿En qué tipo de empresa se ha indagado?

Con el propósito de mejorar la búsqueda, se tomó la determinación de descomponer meticulosamente cada elemento esencial de la investigación. Esta estrategia, llevada a cabo con el objetivo de obtener resultados más precisos y relevantes, implicó un análisis detallado y exhaustivo de cada

componente. Como resultado de esta desagregación, se generaron una serie de interrogantes específicas que abordan de manera individualizada cada aspecto clave del estudio, facilitando así la recopilación de datos pertinentes y la identificación de las fuentes más adecuadas para abordar cada área de interés.

A. Ecuación de búsqueda

Una vez conocidas las palabras clave, se procedió a insertarlas en la base de datos Scopus, por lo que al combinarlas con los operadores booleanos "AND, OR", se obtuvo la siguiente ecuación de búsqueda:

(TITLE-ABS-KEY (lean) OR TITLE-ABS-KEY (lean, OR "continuous improvement") AND TITLE-ABS-KEY (lean, OR "continuous improvement" , AND " human factor") OR TITLE-ABS-KEY (lean, OR "continuous improvement", AND " human factor" , OR ergonomics) AND TITLE-ABS- KEY (lean, OR "continuous improvement" , AND " human factor" , OR ergonomics, OR industry))

A. Definición de los criterios de inclusión y exclusión

Para proceder con la definición de los criterios de inclusión y exclusión de los artículos científicos, se inició con un total de 877 Revisiones Sistemáticas de Literatura (RSL) aparentemente referentes al tema de interés. Asimismo, se tomó en cuenta aquellos artículos más actuales, verificando títulos y resúmenes para que la información no se repita y sea verdídicamente relacionado al tema de investigación.

- Dentro de los criterios de inclusión se consideró:

CI1: Documentos asociados con la ergonomía y el Lean Manufacturing.

CI2: Artículos, revisiones y documentos de conferencia indexados.

- Dentro de los criterios de exclusión se estimó: CE1: Registros sin acceso completo a su información. CE2: Registros en idioma diferente al inglés.

CE3: Registros con más de 5 años de antigüedad.

CE4: Publicaciones no relacionadas al área de ingeniería.

CE5: Publicaciones que no tienen el título relacionado al tema de interés.

CE6: Publicaciones con resúmenes no asociados al tema.

B. Descripción del proceso de selección

Seguidamente, se llevaron a cabo las sugerencias PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) [8] para la selección adecuada de artículos, donde inicialmente, se realizó la identificación de los estudios mediante la base de datos Scopus, identificando unos 877 registros los cuales fueron registrados por ser relacionados a la ergonomía y la metodología Lean manufacturing (criterio de inclusión 1). Asimismo, se descartaron 261 registros antes del cribado, ya que no eran indexados (criterio de inclusión 2), por lo que se quedó con un total de 616 documentos. Seguidamente, se encontraron 277 artículos y revisiones sin acceso completo a su información, por lo que se consideró como el primer criterio de exclusión (CE1) del diagrama PRISMA. Del mismo modo, como segundo criterio de exclusión (CE2) se obtuvo 30 registros en idiomas diferentes al inglés, que no facilitan la redacción de la presente investigación. Quedando un total de 359 publicaciones evaluadas para elegibilidad. Como tercer criterio de exclusión (CE3), se tuvo en cuenta aquellos artículos y/o revisiones con un rango no mayor a 5 años; es decir, se descartaron todos aquellos publicados antes del 2019, garantizando información actualizada y dejando en consecuencia, 251 revisiones fuera de elección. Posteriormente, se omitieron aquellos registros ajenos al área de ingeniería (CE4), tales como ciencias sociales, medicina, psicología, contabilidad, economía, entre otros; sumando unas 45 revisiones descartadas. Como quinto criterio de exclusión (CE5) se tomó en cuenta cada título sin relación al tema seleccionado, dejando 8 registros descartados. De igual manera, para corroborar que realmente se tengan artículos afines, se procedió a leer cada resumen (CE6), excluyendo 5 que no guardaban relación. Finalmente, sumando los resultados de los cuatro últimos criterios de exclusión, se tiene un total de 309 revisiones omitidas. Por lo que, junto a los dos primeros criterios (CE1 y CE2), resultan 566 fuera de elección y al ser restados de los registros cribados (616) se obtienen 50 artículos y/o revisiones que fueron tomadas en cuenta para la presente RSL. (Ver Fig. 1)

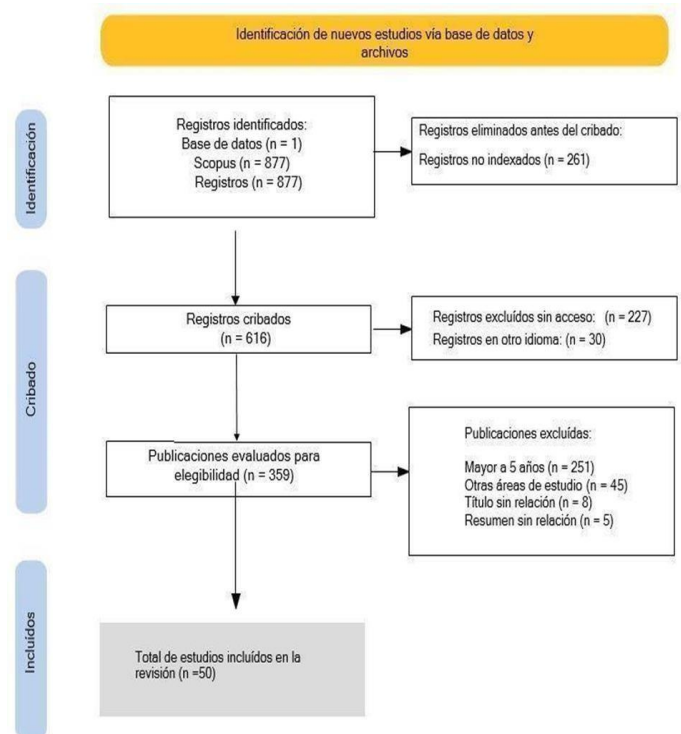


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA.

III. RESULTADOS

En esta sección se detallan los descubrimientos más relevantes y sus implicaciones, proporcionando una visión integral y profunda de los temas investigados, lo cual permitió destacar aspectos clave y tendencias emergentes en el campo de estudio, ofreciendo una comprensión más completa y enriquecedora de la literatura existente.

Una vez desarrollado el Flujo PRISMA, se procedió a extraer las características más relevantes de los 50 artículos incluidos en la presente revisión y así identificar ciertas tendencias presentes, que ayudaron a describir los resultados obtenidos. Dentro del componente de Intervención se identificó el tipo de enfoque utilizado, de los cuales el 50% son de tipo cuantitativo [1, 7, 10, 11, 29, 30...], el 4% son de tipo cualitativo [3, 44] y el 46% son de tipo mixto [4, 6, 8, 9, 12, 13...], reflejándose una mayor cantidad al análisis de datos cuantitativos, según la Tabla III.

TABLA III
ENFOQUE SEGÚN LOS ARTÍCULOS

TIPO DE ENFOQUE	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
CUANTITATIVO	25
CUALITATIVO	2
MIXTO	23

Mediante un análisis detallado, se ha examinado la tendencia de los años de publicación. Esto permite evaluar el progreso anual del tema de la implementación de la

metodología Ergo – Lean en un contexto más amplio y comprender la información emergente en la literatura científica. La Fig. 2 señala el año en el que se publicó cada artículo y con el orden adecuado. El énfasis está puesto en el volumen de investigaciones realizadas en los últimos años, especialmente durante la pandemia [9]. Es decir, de la base de datos de 50 publicaciones seleccionadas mediante el PRISMA. Sin embargo, según la figura 3 el 18% pertenecen al año 2019 [6, 7, 14, 45...], el 16% al año 2020 [12, 25, 29, 31...], el 12% al año 2021 [1, 15, 28, 38...], el 30% al año 2022 [8,21,37,41...], el 2023 con una proporción de 16% [3, 9, 16, 18...], y el 2024 con un porcentaje de 8%.

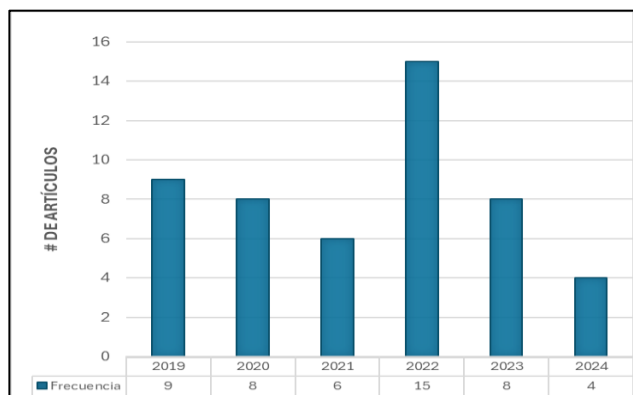


Fig. 2 Cantidad de artículos según el año de publicación.

El aumento significativo en la cantidad de investigaciones realizadas sobre la implementación de la metodología Ergo- Lean para incrementar la productividad refleja el creciente interés de la comunidad científica y empresarial en optimizar procesos y recursos. Es crucial estudiar estos enfoques para entender cómo podrían influir en la eficiencia operativa, la calidad del producto y el bienestar de los trabajadores en diversos sectores industriales. [8]. La Tabla IV evidencia que los países con mayor cantidad de investigaciones científicas pertenecen a Europa (29) [1, 4, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 17, 19, 21, 23, 26, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41], [43 - 50], seguido de Asia (15) [2, 3, 6, 11, 20, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 32, 36, 39, 42] y luego América (6) [5, 15, 16, 18, 22, 30].

TABLA IV
CANTIDAD DE ARTÍCULOS POR LUGAR DE ORIGEN

LUGAR DE ORIGEN	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
EUROPA	29
ASIA	15
AMERICA	6

RQ01- ¿Qué ocasiona la falta de eficacia en la producción?

En el contexto de la seguridad y salud en el trabajo, es fundamental identificar y analizar los problemas comunes que afectan a los empleados en sus entornos laborales. La identificación de estos problemas permite desarrollar estrategias efectivas para mitigarlos, mejorando así el

bienestar de los trabajadores y la eficiencia de las organizaciones [8]. La Fig. 3 presenta a los 50 artículos sobre seguridad y salud laboral, categorizándolos en diversas áreas críticas. Se destacan los problemas de adaptación y cambio (8) [8, 11, 24, 26,...], relacionados con dificultades para ajustarse a nuevos procesos y tecnologías, así como problemas ambientales y de condiciones de trabajo (6) [1, 3, 5, 12, 23,...], que impactan negativamente el rendimiento y la salud. También se abordan problemas de seguridad y salud laboral (4) [9, 17, 20...], que comprometen la seguridad física y bienestar de los empleados, junto con la falta de integración de la ergonomía en la cultura y gestión organizacional (5) [29,50,...], evidenciando una ausencia de principios ergonómicos en las políticas corporativas. Se identifican deficiencias en la capacitación y en la implementación de condiciones ergonómicas adecuadas, problemas de productividad y eficiencia (6) [4, 33, 43, 46,...], que reducen la efectividad laboral, y el diseño inadecuado de estaciones de trabajo y equipamiento (6) [13, 38, 44, 45,...], que provoca incomodidades y problemas de salud. Además, se incluyen trastornos musculoesqueléticos (4) [22, 27, 31, 37] derivados de las condiciones laborales y problemas en procesos y métodos de trabajo que afectan la operación eficiente y segura.

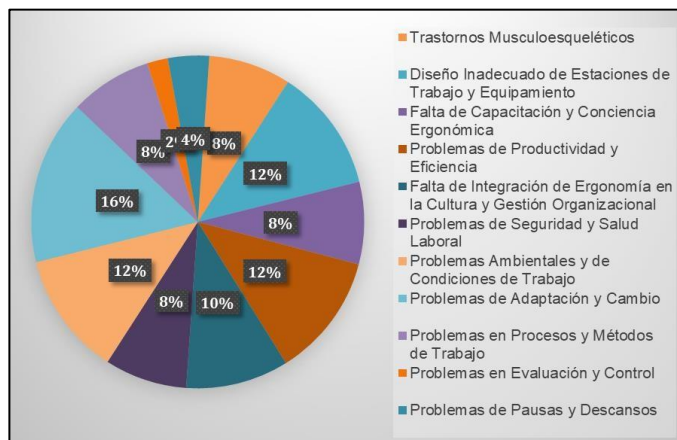


Fig. 3 Artículos sobre seguridad y salud laboral.

RQ02- ¿Qué metodología se han empleado para el incremento de la productividad?

En el componente intervención, las herramientas más utilizadas son el Value Stream mapping (VSM), representando el 24% [11, 26 36, 38...], seguido de los métodos REBA (10%) [28, 30, 50, ...], RULA (10%) [35, 37, 48, 50...], y la metodología Kaizen (10%) [12, 39, 50...], seguidas por six sigma (6%), las 5s (6%), Just in time (4%), mantenimiento productivo total TPM (4%), Poka yoke (4%), SMED (4%), Ishikawa (4%), el método OWAS (4%) y otros en un 6%. Todos ellos pertenecientes al Lean manufacturing y la ergonomía, que juntos buscan incrementar la productividad en las actividades realizadas. (Ver Fig. 4)

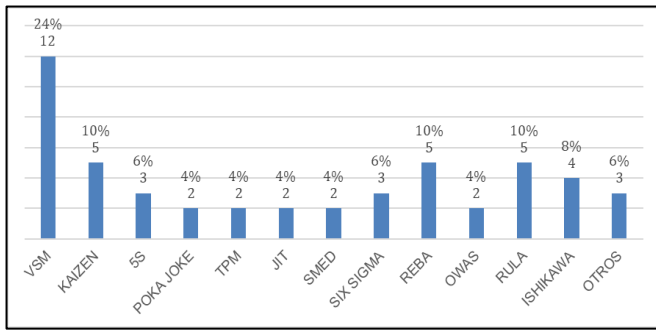


Fig. 4 Herramientas utilizadas.

Seguidamente, en la Fig. 5 se aprecia los porcentajes que ocupan las herramientas de la metodología Lean Manufacturing, que sumados nos dan un total de 62% aplicados en los artículos estudiados en la presente revisión sistemática de literatura. Por otro lado, en la Fig. 6 se muestra el porcentaje que ocupan las herramientas ergonómicas, que sumadas nos dan un 24%.

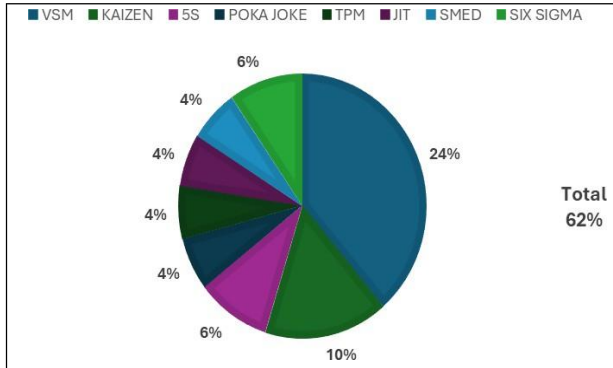


Fig. 5 Herramientas Lean

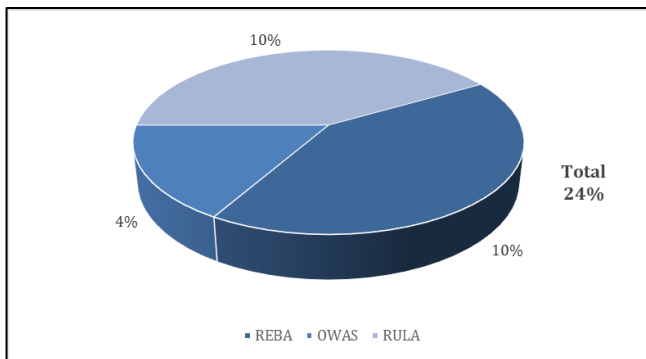


Fig. 6 Herramientas ergonómicas.

RQ03- ¿Qué niveles de eficacia se han alcanzado con estos métodos y qué obstáculos se han encontrado en su implementación?

Para los niveles de eficacia y resultados se observan seis indicadores más usados en la presente RSL, donde la productividad posee un 32% conformado por 16 artículos [1,

20, 27,...], la eficiencia [30, 31, 36,...] ocupa un 24%, el rendimiento [35, 39, 43,...] posee un 14%, el tiempo [26, 28, 45, ...], el 12% y la rentabilidad [14, 22, 41,...] junto a la calidad [19, 21, 40,...] conforman el 10% y 8% respectivamente. Los presentes datos aparecen en la Fig. 7.

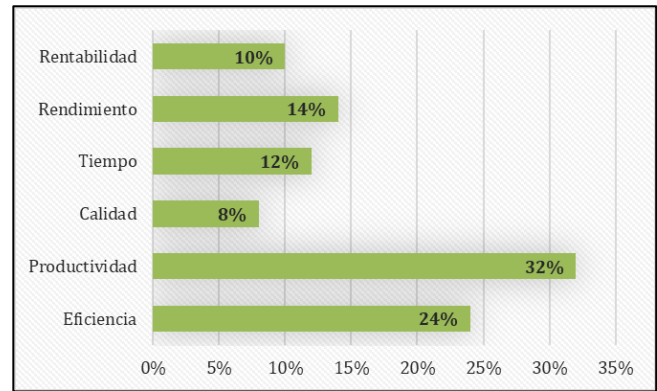


Fig. 7 Porcentaje de indicadores utilizados.

RQ04- ¿En qué tipo de empresa se ha indagado?

Dentro del componente contexto se obtuvo que el 56% son empresas manufactureras [1, 3, 8, 9, 12...] seguido por el 8% de empresas del sector automotriz [4, 10, 11...], textil [26, 29, 34...] y de construcción. Aquellos sectores como la industria alimentaria, metalmecánica ocupan un 6% respectivamente. Mientras que el 4% están conformados por el sector metalúrgico y electrónica. (Ver Fig. 8)

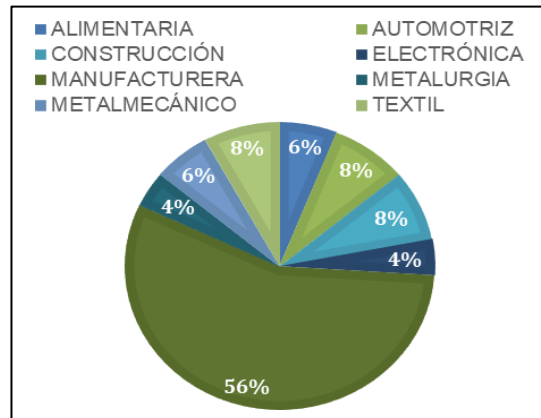


Fig. 8 Tipo de empresa.

En la agricultura, donde predominan posturas forzadas y tareas repetitivas, la ergonomía combinada con Lean ayuda a prevenir lesiones y mejorar la eficiencia [10]. En logística, sectores con alta carga física se benefician del rediseño ergonómico de estaciones, herramientas adaptadas y procesos estandarizados que reducen lesiones y tiempos improductivos [7]. Ergo-Learn se presenta así como una estrategia viable para mejorar productividad sin comprometer la salud del trabajador.

IV. DISCUSIÓN

Se identificaron las metodologías más utilizadas para mejorar la productividad, obteniendo que en su mayoría un 62% fue el uso de Lean Manufacturing, seguido por un 24% de los métodos ergonómicos. Por un lado, la herramienta Value Stream Mapping (VSM), perteneciente a la metodología Lean, fue utilizada un 24%, reduciendo el tiempo de ciclo de 45 a 31.5 minutos, un aumento en la eficiencia del operador del 60 al 75% y una disminución en la tasa de errores del 10 al 7%, lo que mejora la calidad del trabajo, como indica N V Vadulina et al. [40]. Por otro lado, el uso de técnicas ergonómicas, como el método RULA, utilizado al 10%, permite conocer el tipo de postura que posee el trabajador, demostrando que el efecto de una postura incómoda provoca baja productividad, según Rose, A.N.M. et al. [6]. A diferencia de lo descrito, Fahad Hussaina et al. [20] indica que la implementación de principios Lean para reducir el desperdicio puede aumentar la presión sobre los trabajadores, así como la ergonomía puede hacer el entorno amigable; por lo tanto, su aplicación simultánea es importante para eliminar desperdicio y brindar entornos seguros para los trabajadores. Sin embargo, trabajos anteriores [33], [47] que han incorporado Lean manufacturing, consideran que la ergonomía en la industria todavía está poco representada en relación con su importancia en este momento. También se encontró que, según [37] la presencia de robots en entornos industriales es una realidad bien establecida, pues al ser combinada con la metodología Lean, se obtuvo una reducción del 20% en el tiempo de ciclo y una mejora en la satisfacción y bienestar de los trabajadores.

Entre los retos éticos de Ergo-Lean destaca la tensión entre eficiencia y salud del trabajador, ya que una mala implementación puede derivar en sobrecarga laboral [1]. Culturas organizacionales centradas únicamente en la productividad tienden a ver la ergonomía como un gasto, lo que dificulta su adopción [9]. Asimismo, las PYMES enfrentan limitaciones técnicas y económicas para aplicar este enfoque, lo que amplía las desigualdades en condiciones laborales [11].

Diversas investigaciones recientes destacan el uso de tecnologías emergentes como realidad aumentada, sensores de movimiento y gemelos digitales para aplicar Ergo-Lean de forma dinámica. Estas herramientas permiten monitorear posturas en tiempo real y simular cambios antes de su implementación física, mejorando la eficiencia del rediseño sin comprometer la producción [12].

V. CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática de la literatura ha proporcionado una visión comprensiva sobre la implementación de Lean Manufacturing combinado con prácticas ergonómicas en el sector industrial. Los hallazgos indican que la integración de estas metodologías puede mejorar significativamente la eficiencia productiva y el bienestar de los trabajadores. Las

herramientas de Lean Manufacturing, especialmente el Value Stream Mapping (VSM), demostraron ser efectivas para reducir tiempos de ciclo y aumentar la eficiencia operativa, mientras que las evaluaciones ergonómicas, como el método RULA, permitieron identificar y mitigar riesgos asociados con posturas y movimientos inadecuados. Aunque los resultados son prometedores, el estudio presenta ciertas limitaciones.

La mayoría de los artículos revisados son de naturaleza cuantitativa, lo que podría introducir sesgos en la interpretación de los resultados. Además, la revisión se centró en estudios publicados en inglés y en los últimos cinco años, lo que puede excluir investigaciones relevantes en otros idiomas o periodos. También se observó una falta de estudios específicos en ciertos sectores industriales, lo que sugiere la necesidad de más investigación para validar estos hallazgos en una variedad de contextos.

La implementación de herramientas como VSM y evaluaciones ergonómicas puede resultar en una reducción de desperdicios, tiempos de ciclo y una mejora en la salud y satisfacción de los empleados. Este enfoque puede ser particularmente útil en industrias donde la presión por mantener altos niveles de productividad es constante. Se recomienda realizar estudios adicionales para explorar la aplicabilidad de estos modelos en diferentes contextos regionales y sectoriales. Además, sería beneficioso investigar más a fondo la interacción entre Lean Manufacturing y ergonomía, y cómo esta combinación puede optimizarse para diferentes tipos de industrias. La inclusión de enfoques cualitativos en futuros estudios también podría proporcionar una perspectiva más completa y detallada sobre los impactos de estas metodologías en el entorno laboral.

Más allá de los beneficios productivos, la implementación de Ergo-Lean promueve ambientes laborales más seguros, inclusivos y sostenibles. La reducción de lesiones musculoesqueléticas y el aumento de la satisfacción laboral derivan en un impacto social directo al disminuir la rotación laboral y mejorar la calidad de vida de los empleados, especialmente en países con baja regulación ergonómica.

REFERENCIAS

- [1] A. Colim et al., "Lean Manufacturing and Ergonomics Integration: Defining Productivity and Wellbeing Indicators in a Human-Robot Workstation", *Sustainability*, vol. 13, p. 1931, Feb. 11, 2021. <https://doi.org/10.3390/SU13041931>
- [2] H. V. kumar and A. Sivakumar, "Integrating Ergonomic Factors with Waste Identification Diagram to Enhance Operator Performance and Productivity in the Textile Industry", *Transactions of FAMENA*. <https://doi.org/10.21278/tof.461032621>
- [3] A. Amjad, S. I. Butt, M. H. Agha, A. Ahmad, F. Zhang, and S. Ahmad, "Integrating Ergonomics and sustainability: A framework with LDA methodology and implementation roadmap", *Technology in Society*, Sep. 01, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc>
- [4] A. Mocan and A. Draghici, "Automation possibilities in a low rotation warehouse of a Belgian manufacturing plant. A case study", *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201929002006>

- [5] D. M. Aquino-Rojas, E. A. Rodriguez-Paz, and J. Quiroz-Flores, "Ergonomic Redesign Model to reduce musculoskeletal disorders in a cluster of SMEs in the clothing accessories sector", *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/laccei2022.1.1.51>
- [6] A. Rose, M. A. A. Rashid, N. N. N. Mohamed, and M. A. S. Jubri, "The implementation of lean manufacturing and ergonomics in Small Medium Enterprise – Case study", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 702, Dec. 07, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/702/1/012057>
- [7] A. Alves, A. Ferreira, L. C. Maia, C. Leão, and P. Carneiro, "A symbiotic relationship between Lean Production and Ergonomics: insights from Industrial Engineering final year projects", *Industrial Engineering and Management*, vol. 10, pp. 243–256, Dec. 01, 2019. <https://doi.org/10.24867/ijiem>
- [8] A. Boutayeb, A. Ennadi, A. Chamat, and A. Touache, "Managing the Conflict between Economic and Social Factors in a Lean Context", *Journal of Engineering*, Mar. 28, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/9369996>
- [9] A. C. Pereira, A. Alves, and P. Arezes, "Augmented Reality in a Lean Workplace at Smart Factories: A Case Study", *Applied Sciences*, Aug. 10, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13169120>
- [10] A. Colim, R. Morgado, J. Dinis-Carvalho, and N. Sousa, "An empirical study of the work conditions and productive performance after collaborative robotics implementation in a manufacturing assembly process", *FME Transactions*. <https://doi.org/10.5937/fme2104859c>
- [11] A. D. Sari, R. Gumilar, N. Setiawan, M. R. Salleh, M. Suryoputro, and N. Zhafira, "Hybrid Methods of MOST and 5S for Reducing Time Processing and Waste Motion in Milk SMEs Industry: A Case Study", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 530, Jul. 15, 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012037>
- [12] A. Kowalski, R. Waszkowski, and V. Ratushnyi, "The use of Lean Manufacturing principles to improve production processes by better designing of assembly cells", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 916, Sep. 11, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/916/1/012053>
- [13] A. Softić, H. Basic, H. Lulić, and A. Nakic, "Application of the Lean Concept for Analysis and Optimization of the Automobile Filter Production Company". pp. 0708–0716. <https://doi.org/10.2507/31st.daaam.proceedings.098>
- [14] B. A. Kadir, O. Broberg, and S. da Concei, "A Framework for Designing Work Systems in Industry 4.0", *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, Jul. 01, 2019. <https://doi.org/10.1017/DSI.2019.209>
- [15] D. Domínguez-Alfaro, I. Mendoza-Muñoz, C. R. Navarro-Gonzalez, M. Montoya-Reyes, S. E. Cruz-Sotelo, and O. Y. Vargas-Bernal, "ErgoVSM: A new tool that integrates ergonomics and productivity", *Journal of Industrial Engineering and Management*, Jul. 19, 2021. <https://doi.org/10.3926/IJEM.3507>
- [16] D. Domínguez-Alfaro, I. Mendoza-Muñoz, M. Montoya-Reyes, O. Y. Vargas-Bernal, and G. Jacobo-Galicia, "Design and Implementation of Integral Ergo- Value Stream Mapping in a Metal-Mechanical Company to Improve Ergonomic and Productive Conditions: A Case Study", *Logistics*, Dec. 12, 2023. <https://doi.org/10.3390/logistics7040100>
- [17] E. Fonda and A. Meneghetti, "The Human-Centric SMED". <https://www.semanticscholar.org/paper/b34ae6aa6a280b13cae711c4fa00132c762f309e>
- [18] E. M. Simonsen, R. Herrera, and E. Atencio, "Benefits and Difficulties of the Implementation of Lean Construction in the Public Sector: A Systematic Review", *Sustainability*, Apr. 03, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15076161>
- [19] F. Gleeson, P. Coughlan, L. Goodman, A. Newell, and V. Hargaden, "Improving manufacturing productivity by combining cognitive engineering and lean-six sigma methods", *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2019.03.169>
- [20] F. Hussain, M. Uzair, M. A. Islam, and M. Shafiq, "Implementation of ergonomics and lean manufacturing principles to improve work environment and performance of soccer ball production line", *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, Nov. 13, 2023. <https://doi.org/10.4995/jarte.2024.20075>
- [21] F. Rybníkář, I. Kacerová, P. Hořejší, and M. Šimon, "Ergonomics Evaluation Using Motion Capture Technology—Literature Review", *Applied Sciences*, Dec. 23, 2022. <https://doi.org/10.3390/app13010162>
- [22] G. Tortorella, J. Cómbita-Niño, J. Monsalvo-Buelvas, L. del C. V. Pacheco, and Z. Herrera-Fontalvo, "Design of a methodology to incorporate Lean Manufacturing tools in risk management, to reduce work accidents at service companies". pp. 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.038>
- [23] H. Islam, Z. Chavez, M. Bellgran, "An Exploratory Study on Integrating Sustainability Aspects During the Acquisition of Production Equipment", *Advances in Transdisciplinary Engineering*, Dec. 10, 2020. <https://doi.org/10.3233/atde200143>
- [24] H. K. M. Dora, L. S. R. Krishna, and P. R. Reddy, "Enhancement of safety and productivity all the way through function of ergonomics principles – A case study", *Materials Today: Proceedings*, May 01, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.444>
- [25] H. Kumar, S. Annamalai, and N. Bagathsingh, "Impact of lean implementation from the ergonomics view: A research article", *Materials Today: Proceedings*, Aug. 09, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.113>
- [26] I. Vicente, R. Godina, and A. T. Gabriel, "Applications and future perspectives of integrating Lean Six Sigma and Ergonomics", *Safety Science*, Apr. 01, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106418>
- [27] I. W. R. Taifa, "A student-centred design approach for reducing musculoskeletal disorders in India through Six Sigma methodology with ergonomics concatenation", *Safety Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105579>
- [28] J. G. Brawner, G. A. Harris, and G. A. Davis, "Will the real relationship between lean and safety/ergonomics please stand up?", *Applied ergonomics*, vol. 100, p. 103673, Dec. 19, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103673>
- [29] J. Limperg, "A novice-friendly induction tactic for lean", *Proceedings of the 10th ACM SIGPLAN International Conference on Certified Programs and Proofs*, Dec. 16, 2020. <https://doi.org/10.1145/3437992.3439928>
- [30] J. Quiroz-Flores, C. Cepeda-Zavala, E. Terry-Alba, and N. S., "A Proposed Lean Approach Model to Increase the Operational Efficiency of Natural Gas Connection Installations in Metropolitan Lima", *International Journal of Civil Engineering*, Jun. 30, 2023. <https://doi.org/10.14445/23488352/ijce-v10i6p101>
- [31] K. Karupiah, B. Sankaranarayanan, S. Ali, and G. Kabir, "Role of Ergonomic Factors Affecting Production of Leather Garment-Based SMEs of India: Implications for Social Sustainability", *Symmetry*, vol. 12, p. 1414, Aug. 25, 2020. <https://doi.org/10.3390/sym12091414>
- [32] L. Niu and R. Ji, "An applied study of industrial enterprise engineering and management based on human factors engineering", *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, Jan. 01, 2024. <https://doi.org/10.2478/amns-2024-0536>
- [33] M. Afonso, A. Gabriel, and R. Godina, "Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit", *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, Mar. 01, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- [34] M. Brito, M. Vêlo, J. Leão, L. P. Ferreira, F. Silva, and M. A. Gonçalves, "Lean and Ergonomics decision support tool assessment in a plastic packaging company", *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 613–619. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.086>
- [35] M. Ciccarelli, A. Papetti, F. Cappelletti, A. Brunzini, and M. Germani, "Combining World Class Manufacturing system and Industry 4.0 technologies to design ergonomic manufacturing equipment", *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 16, pp. 263–279, Jan. 12, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12008-021-00832-7>
- [36] M. Kanan et al., "An Empirical Study of the Implementation of an Integrated Ergo- Green-Lean Framework: A Case Study", *Sustainability*, Jun. 26, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151310138>
- [37] M. Marinelli, "Human-Robot Collaboration and Lean Waste Elimination: Conceptual Analogies and Practical Synergies in Industrialized

- Construction”, *Buildings*, Nov. 23, 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12122057>
- [38] M. Martinelli, R. Gamberini, and M. Lippi, “Poka Yoke Meets Deep Learning: a Proof of Concept for an Assembly Line Application”, *Applied Sciences*, Nov. 03, 2021. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1047012/v1>
- [39] N. Suranuntchai and P. Chutima, “Practical Implementation of Lean Management Techniques and Ergonomic Consideration to Improve Manual Assembly Process During the COVID-19 Crisis”, *Engineering Journal*, Feb. 01, 2023. <https://doi.org/10.4186/ej.2023.27.2.29>
- [40] N. Vadulina, N. K. Abdrahmanov, A. Fedosov, Y. Savicheva, and I. Khlopina, “Ergonomics of the workplace in the lean production system”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 862, May 28, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/4/042040>
- [41] P. Dallasega, F. Schulze, and A. Revolti, “Augmented Reality to overcome Visual Management implementation barriers in construction: a MEP case study”, *Construction Management and Economics*, vol. 41, pp. 232–255, Nov. 04, 2022. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2135748>
- [42] P.-C. Wang, C.-C. Yang, Y.-C. Huang, and Y.-S. Cheng, “A Case Study of Ergonomics Prevention Program in a Machine Manufacture Industry”, *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, Apr. 22, 2022. <https://doi.org/10.31098/cset.v2i1.538>
- [43] S. A. Candan, U. K. Sahin, and S. Akoğlu, “The investigation of work-related musculoskeletal disorders among female workers in a hazelnut factory: Prevalence, working posture, work-related and psychosocial factors”, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Nov. 01, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102838>
- [44] S. Finco, G. Ashta, A. Persona, and I. Zennaro, “Investigating different manual picking workstations for robotized and automated warehouse systems: Trade-offs between ergonomics and productivity aspects”, *Comput. Ind. Eng.*, vol. 185, p. 109668, Oct. 01, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109668>
- [45] S. Vukadinović, I. Mačuzić, M. Djapan, and M. Milošević, “Early management of human factors in lean industrial systems”, *Safety Science*, Nov. 01, 2019. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2018.10.008>
- [46] T. Afonso, A. C. Alves, P. Carneiro, and A. Vieira, “Simulation pulled by the need to reduce wastes and human effort in an intralogistics project”, *International Journal of Industrial Engineering and Management*, Dec. 30, 2021. <https://doi.org/10.24867/ijiem-2021-4-294>
- [47] V. Bittencourt, M. Buchbinder, D. Saakes, and S. Thiede, “Integrated lean and ergonomic assessment for the planning of human-centered factories”, *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.08.061>
- [48] V. C. Erazo-Chamorro, R. P. Arcinięga-Rocha, N. Rudolf, B. Tibor, and S. Gyula, “Safety Workplace: The Prevention of Industrial Security Risk Factors”, *Applied Sciences*, Oct. 23, 2022. <https://doi.org/10.3390/app122110726>
- [49] Y. Kose, H. Civan, E. Ayyıldız, and E. Cevikcan, “An Interval Valued Pythagorean Fuzzy AHP–TOPSIS Integrated Model for Ergonomic Assessment of Setup Process under SMED”, *Sustainability*, Oct. 25, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142113804>
- [50] Y. Prasetyawan, B. A. Ramadhan, and L. Salsabila, “Lean manufacturing with multilevel Value Stream Mapping”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1072, Feb. 01, 2021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1072/1/012030>