

Lean Manufacturing tools integrated with Industry 4.0 technologies for operational efficiency: Systematic review

Karla A. Alva-Breña¹ , Alisson K. Espiritu-Asensios²  and Cristopher Z. Vargas³ 

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19201542@utp.edu.pe, u18307275@utp.edu.pe, crzuniga@utp.edu.pe

Abstract– This review aims to identify the different Lean tools that are best suited to Industry 4.0 technologies, thus seeking to increase operational efficiency where the problem is focused, i.e., it is used in order to improve their areas where deficiencies are visualized. In the following way, there were 284 articles extracted from Scopus and Web of Science, which only 22 are included in this research and are in accordance with the topic. According to the result of the research, the joint use of Lean tools in Industry 4.0 has achieved in most of the cases studied a great improvement in the processes, of which, there were deficiencies suffered by these companies where it had not been applied what would already be the combination of them transforming into Lean 4.0. With this, it was concluded that the use of these tools in conjunction with technologies has a certain correlation. But, also the limitations exist and are evident since each situation diverges in different ways and is not applied in the investigations.

Keywords-- Industria 4.0, Lean Manufacturing, Lean 4.0, efficiency.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Herramientas del Lean Manufacturing integradas a las tecnologías de la Industria 4.0 para la eficiencia operativa: Revisión sistemática

Karla A. Alva-Breña¹, Alisson K. Espiritu-Asensios² and Cristofher Z. Vargas³

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, u19201542@utp.edu.pe, u18307275@utp.edu.pe, crzuniga@utp.edu.pe

Resumen— Esta revisión tiene como objetivo identificar las diferentes herramientas del Lean que se adecuan mejor a las tecnologías de la Industria 4.0 buscando de esa forma aumentar la eficiencia operativa en donde estaría enfocado el problema, es decir, se emplea ello con la finalidad de mejorar sus áreas en donde se visualicen las deficiencias. De la siguiente manera, fueron 284 artículos extraídos de Scopus y Web of Science, los cuales solo 22 están incluidos en esta investigación y van conforme al tema tocado. Conforme al resultado de la investigación, el empleo conjunto de las herramientas Lean en la industria 4.0 se ha conseguido en su mayoría según los casos estudiados una gran mejoría en los procesos, de los cuales, existía deficiencias que sufrían dichas empresas donde no se había aplicado lo que ya sería la combinación de ellas transformándose en Lean 4.0. Con ello, se concluyó que el empleo de estas herramientas en conjunto con las tecnologías tiene en cierta forma correlación. Pero, también las limitaciones existen y son evidentes ya que cada situación diverge en distintas formas y no se aplique en las investigaciones.

Palabras claves— Industria 4.0, Lean Manufacturing, Lean 4.0, efficiency

I. INTRODUCCIÓN

La rivalidad internacional y los contextos que cambian constantemente en la era contemporánea afectan a los mecanismos industriales. Por lo tanto, se requiere sensibilidad, adaptabilidad y respuestas económicas en los sistemas industriales.[1]. Por lo tanto, la Cuarta Revolución Industrial es una innovación en el campo que busca resolver estos desafíos. Es decir, es una iniciativa de transformación que busca integrar tecnologías avanzadas y sistemas de producción para mejorar la productividad de las operaciones en organizaciones [2] y hacer un cambio en sus cadenas de valor en escenarios interconectados ágiles e inteligentes [3]. Por ello, esta iniciativa incorpora tecnologías que hábilmente se dan para poder compartir datos y apoyar a las actividades humanas. De esa manera, la consecuencia de ello sería lograr una mayor competitividad [4]. No obstante, la implementación de sistemas inteligentes, como es el caso de Lean 4.0, representa un reto para las entidades debido a la limitación de los modelos para integrar tecnologías de vanguardia y facilitar la interconexión digital entre los procesos, individuos y productos “inteligentes”, que se ven como los elementos

“sofisticados”. Además, las organizaciones se sienten poco guiadas e inseguras, ya que carecen de claridad sobre los beneficios de esta iniciativa y una estrategia digital para adoptarla. Por lo tanto, al adoptar Lean 4.0, las empresas hacen frente a hacer grandes inversiones, capacitar a las personas y cambiar su cultura [5].

La mayoría de las empresas que en su totalidad han implementado las prácticas lean se enfrentan a un problema común relacionado con la sostenibilidad implementadas en todo el sistema que abordan y juegan un rol con el tiempo. Por ello, la problemática que abordaremos en nuestro trabajo de investigación es la falta de acceso de datos en tiempo real que limitan a las organizaciones a tomar decisiones, dar una respuesta rápida a las dificultades o situaciones que generen una baja eficiencia operativa y trabajen bajo el Lean Manufacturing tradicional [6]. Dado que los continuos cambios que se vienen generando en las industrias conforme a las nuevas eras tecnológicas, digitalizaciones, procesos que buscan una mayor automatización [7]. Por eso, el impacto que tiene la aplicación de herramientas Lean Manufacturing en el desempeño de la empresa se ha visto como una curva que tiende a subir, pero de pronto tiende a bajar [8,9].

Tanto Lean desde el punto metodológico las herramientas sufrieron transformaciones y actualizaciones de conceptos al verse inmersos en la Industria 4.0. Con ello, surgiendo nuevas formas de pensar y con una perspectiva digital, las cuales, abren puertas a las tecnologías digitales que aportarían una gran mejora en la aceptación del Lean 4.0. Además, permitirá que los planes estratégicos de las industrias se logren implementar correctamente y sus objetivos y metas se vean cumplidas en un tiempo eficiente. Respecto a este nuevo escenario para las industrias de fabricación, surgen retos en términos de automatización y digitalización de los procesos productivos que suponen una relevante posibilidad tecnológica para transformar el modo en que las compañías aportan valor a sus consumidores. Por ello, para muchas organizaciones no es factible la transformación, debido a que su infraestructura se ve afectada tanto los recursos humanos como la gestión de las relaciones con sus clientes [10]. Por ende, este es un tema que necesita mayor investigación para comprender como se llevan a cabo conjuntamente el Lean Manufacturing con la Industria 4.0 y como la digitalización realmente impacta en la industria. Con ello, los efectos reales, los obstáculos y los factores clave de éxito para su amplia adopción en diferentes sectores y contextos industriales aún requieren investigación adicional

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

[11] ello, cuando se juntan adecuadamente dan lugar al lean 4.0 y se vuelven capaces de complementarse entre ellos [12].

En la presente revisión, se pretende explicar de qué manera las herramientas del Lean se integran a las tecnologías de la Industria 4.0. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es identificar las diferentes herramientas del Lean Manufacturing que se adecuan mejor a las tecnologías de la Industria 4.0 buscando aumentar la eficiencia operativa. Con ello, proporcionar una visión organizada de la búsqueda de artículos de investigación, haciéndolas objeto de una Revisión Sistemática de Literatura (RSL).

En tal sentido, el documento está organizado de la siguiente manera. Primeramente, la sección II que engloba la Metodología, presenta la metodología de la RSL, describiendo los componentes de pregunta de revisión (PICO) y según ello se generan la pregunta principal y subpreguntas. Además, lo que comprende el método PRISMA [13] y este incluye identificación, cribado e inclusión. Segundo, la sección III abarca los Resultados, el cual está comprendido en el punto de análisis bibliométrico. Tercero, la sección IV contiene el punto de Discusión, el cual interpreta, compara y critica de manera resumida los resultados. Finalmente, la sección V incluye las Conclusiones, la cual responde el objetivo de la investigación.

II. METODOLOGÍA

Esta investigación se apoya de la metodología de revisión sistemática de literatura (RSL) que permitió analizar los diferentes artículos relacionados al tema de investigación. El objetivo es de manera sistemática contribuir en la relación entre el Lean Manufacturing y la industria 4.0, siendo la tecnología digital un motor para la evolución de las herramientas Lean Manufacturing. Se realizaron búsquedas consecutivas en dos sitios académicos Scopus y Web of Science siguiendo los componentes de informes preferidos para revisiones sistemáticas y metaanálisis (PRISMA), que es un esquema de presentación de informes fácil para revisiones sistemáticas que asiste a los escritores a elaborar sus revisiones e informes de metaanálisis.

A. Definición del problema de investigación

En este punto se utiliza el marco de Patient, Intervention, Comparison, Outcome (PICO), para describir de manera precisa los componentes de una pregunta de literatura científica, en esta investigación se harán uso de solo 3 componentes: población, intervención y resultados.

TABLA I
COMPONENTES DE PREGUNTA DE REVISIÓN (PICO)

P	Población / problemática	Industria 4.0	industry 4.0, the fourth industrial revolution, smart factory, digitization*, intelligent manufacturing, Machine-learning, Machine learning, Data mining, Big Data
---	--------------------------	---------------	--

I	Intervención ¿Qué? ¿Como?	Lean Manufacturing	lean manufacturing, smart lean, lean 4.0, lean tools, JIT, just in time, 5S, TPM, Kanban, Poka Yoke, Lean production, manufacturing practices
O	Resultado	Eficiencia	productivity, yield, throughput, efficiency, quality

De la tabla I se obtuvo la siguiente pregunta de investigación y a partir de ello, se generaron las subpreguntas.

RQ: ¿Qué herramientas lean Manufacturing se integra en la industria 4.0 para lograr la eficiencia en las organizaciones?

RQ1: ¿Que tecnologías de la Industria 4.0 están interviniendo en la evolución de las herramientas del Lean Manufacturing?

RQ2: ¿En qué tipo de empresas u organizaciones se ha investigado?

RQ3: ¿Qué herramientas del Lean Manufacturing se aprovechan mejor en la Industria 4.0?

RQ4: ¿Qué grados de eficiencia operativa se obtiene con la fusión de la industria 4.0 y el Lean Manufacturing?

B. Revisión sistemática de literatura

Se empleó el método PRISMA [13] teniendo en cuenta sus 3 pasos principales: identificación, cribado e inclusión. Además, se eligió este método por su amplia aceptación en artículos académicos de diferentes áreas temáticas.

1) Identificación

Se explicaron las palabras claves relacionadas al tema de investigación de este artículo, Industria 4.0 y Lean Manufacturing. Y, con ello realizar la búsqueda de artículos en las bases de datos Scopus y Web of Science. En otras palabras, se eligieron dichas bases de datos por su extenso alcance de publicaciones. Asimismo, se empleó Mendeley como aplicación para la administración de citas bibliográficas, gracias a sus características de fácil manejo, como el procesamiento ágil de un gran número de referencias, el complemento de citas para documentos de texto, el lector de PDF incorporado y la colaboración en proyectos de equipo. Adicionalmente, se utilizó Microsoft Excel para la recolección y análisis de datos. Como resultado de la ecuación de búsqueda utilizada para Scopus se incluyó los siguientes términos: (TITLE-ABS-KEY ("industry 4.0" OR "the fourth industrial revolution" OR "smart factory" OR digitization* OR "intelligent manufacturing" OR "Machine-learning" OR "Machine learning" OR "Data mining" OR "Big Data") AND TITLE-ABS-KEY ("lean manufacturing" OR "smart lean" OR "lean 4.0" OR "lean tools" OR "JIT" OR "just in time" OR "5S" OR "TPM" OR kanban OR "Poka Yoke" OR "Lean production" OR "manufacturing practices") AND TITLE-ABS KEY (productivity OR yield OR throughput OR efficiency OR qual

ity)). Asimismo, de Web of Science lo siguiente : "industry 4.0" OR "the fourth industrial revolution" OR "smart factory" OR digitization* OR "intelligent manufacturing" OR "Machine-learning" OR "Machine learning" OR "Data mining" OR "Big Data" (All Fields) AND "lean manufacturing" OR "smart lean" OR "lean 4.0" OR "lean tools" OR "JIT" OR "just in time" OR "5S" OR "TPM" OR kanban OR "Poka Yoke" OR "Lean production" OR "manufacturing practices" (All Fields) AND productivity OR yield OR throughput OR efficiency OR quality (All Fields).

Se obtuvo como base de datos 284 documentos de los cuales se excluyó 18 artículos duplicados, 42 artículos publicados antes del 2018 y por último 13 documentos que son diferentes del idioma español e inglés. La tabla II siguiente describe los criterios de exclusión utilizados, resultando en 210 artículos que pasaran a la siguiente etapa de cribado.

TABLA II
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

CE 1	Se excluirán los documentos que no sean artículos originales de investigación.
CE 2	Se descartan las publicaciones en idiomas distintos del inglés y español.
CE 3	Artículos publicados antes del 2018.

2) Cribado

Esta segunda etapa consistió en primer lugar leer el título, resumen y las palabras claves para identificar artículos potenciales para la revisión, de lo cual se obtuvieron 97 artículos que si cumplían. En segundo lugar, se realizó la descarga de todos los artículos y solo se pudo recuperar 61 documentos que pasarían a leerse a texto completo. Finalmente, excluir los artículos según la siguiente tabla III:

TABLA III
CRITERIOS DE INCLUSIÓN

CI 1	Los estudios abordaron la integración de la industria 4.0 y el Lean Manufacturing
CI 2	Los estudios describieron las herramientas del Lean Manufacturing utilizadas.
CI 3	Los estudios incluidos tuvieron información de la tendencia de la eficiencia operativa.
CI 4	Los estudios incluidos se enfocaron en la eficiencia operativa.

3) Inclusión

Para culminar, los estudios que pasaron a ser evaluados a elegibilidad por tema de investigación, 39 de ellos no estaban alineados al tema de investigación, 20 artículos fueron excluidos porque no abordaron de manera integrada las tecnologías con las herramientas del Lean Manufacturing. Además, retiramos 7 documentos porque no describieron que herramientas en específico se utilizaron. Por otro lado, se excluyeron 8 documentos que no se enfocaron en la eficiencia operativa y 4 documentos que no tenían datos específicos de la eficacia operativa resultado de los artículos. Con lo cual se

obtuvieron sólo 22 artículos que serán utilizadas en los próximos pasos de investigación (Ver Fig. 1)

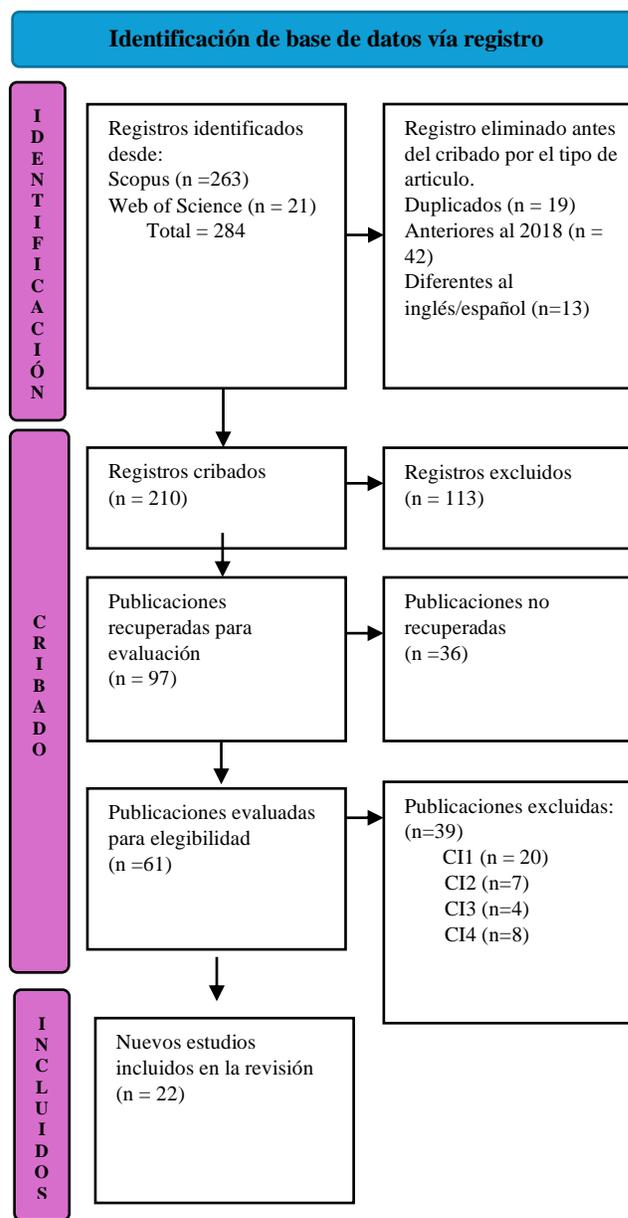


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

III. RESULTADOS

A. Análisis bibliométrico

En relación con la figura 2, se observa que el autor Kumar tiene mayor referencia y citación con otros autores acerca del tema investigado de Lean Manufacturing y la industria 4.0. Además, que en su mayoría de años se encontraron mayores estudios entre el 2019 y 2020.

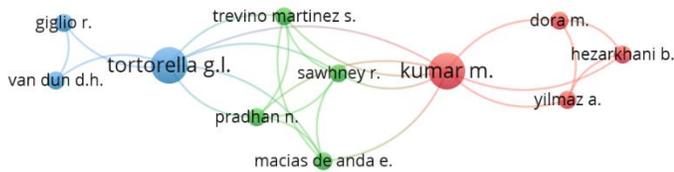


Fig. 2 Autores con el año de publicación RSL.

Según la figura 3, se visualiza las palabras claves de los documentos estudiados entre ellas, la palabra industria 4.0 que engloba Manufacturing, Making Intelligent Decisions, Duster análisis, entre otros



Fig. 3 Palabras claves según los documentos RSL.

De acuerdo con el estudio, inferimos que los países de origen acerca de los artículos que corresponden al tema investigado ya sea en casos de empresas o cuna de estudio de los autores, se muestra en la siguiente figura 4.

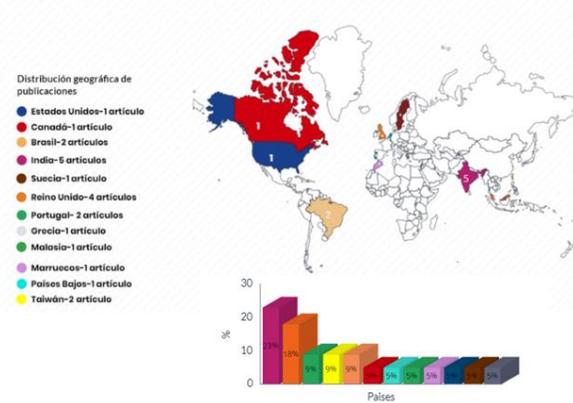


Fig. 4 Distribución geográfica de artículo RSL.

Según la figura 4, el 23% de los artículos investigados para el tema dado corresponden al país de la India.

Los artículos de Tortorella et al. [13, 14] tiene más relevancia para las investigaciones ya que cuenta con el mayor número de citas de 193 y 59, por la calidad de la información de los documentos. Le sigue el autor Valamede et al. [[16],

con 58 citaciones, Tripathi et al. [17] con 29 citas, Anosike et al. [17] con 28 citas y los demás artículos de la tabla IV.

TABLA IV
LOS 8 ARTÍCULOS MÁS CITADOS EN LAS INVESTIGACIONES

Autores	Citas	Año
Tortorella G.L.; Giglio R.; van Dun D.H.	193	2019
Tortorella G.L.; Pradhan N.; Macias de Anda E.; Trevino Martinez S.; Sawhney R.; Kumar M.	59	2020
Valamede L.S.; Akkari A.C.S.	58	2020
Tripathi V.; Chattopadhyaya S.; Mukhopadhyay A.K.; Sharma S.; Li C.; Di Bona G.	29	2022
Anosike A.; Alafropatis K.; Garza-Reyes J.A.; Kumar A.; Luthra S.; Rocha-Lona L.	28	2021
Ito T.; Abd Rahman M.S.; Mohamad E.; Abd Rahman A.A.; Salleh M.R.	24	2020
Yilmaz A.; Dora M.; Hezarkhani B.; Kumar M.	23	2022
Gayialis S.P.; Kechagias E.P.; Konstantakopoulos G.D.; Papadopoulos G.A.	10	2022

Se muestran los 8 artículos más relevantes dado que después de estos cuentan con menos de 10 citas y algunos artículos no han sido citados en estudios anteriores.

En la siguiente figura 5, nos da un resumen acerca de las herramientas Lean Manufacturing y la cantidad que se emplearon en los artículos investigados.

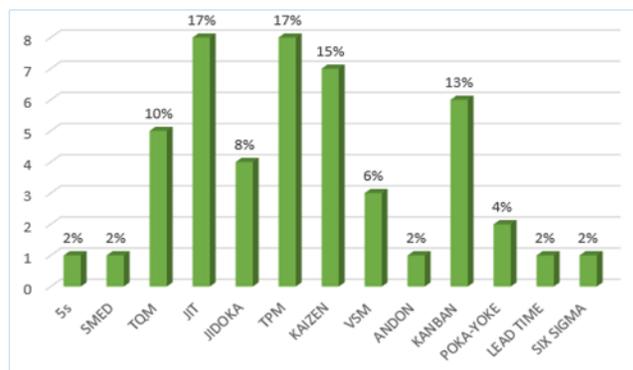


Fig. 5 Herramientas Lean Manufacturing de artículos SRL.

Con ello, JIT y TPM fueron las herramientas que en mayoría se emplearon en el estudio.

B. Tecnologías de la industria 4.0 aplicadas al Lean

La siguiente figura 6 nos muestra las tecnologías de la industria 4.0 que se aplicaron en los correspondientes documentos investigados.

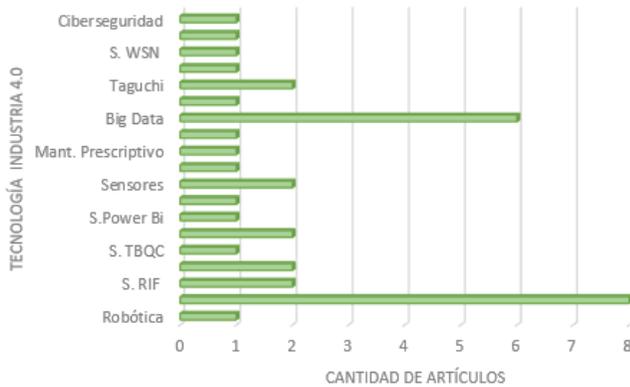


Fig. 6 Tecnología de Industria 4.0 de artículos SRL.

Con ello, Software Rif y Big Data son tecnologías que con mayoría fueron utilizadas en los escritos. Adicional a ello, la integración de la robótica aplicada a la herramienta SMED y 5S en las operaciones que corresponden a lo cotidiano que son los cuellos de botella hacen que toda la cadena de producción sea más productiva [18]. De esa forma, La simulación integrada al TQM con respecto al flujo de información, coordinación de procesos, utilización eficiente de los recursos y flexibilidad, te permite que el ciclo de desarrollo del producto sea más corto y por lo tanto, más rentable [19]. Además, Software RIF, Software WSN y los sensores aplicados al lean son un concepto tecnológico que permite que la productividad tanto del personal como de las máquinas se llegaran a estudiar, por ello el BIG DATA se vio aplicada en las herramientas Kaizen, TQM Y Six Sigma [20]. En este artículo se estudiaron las tecnologías 4.0 entre ellas Big Data Analytics, Vehículos Guiados Automatizados (AGV), Simulación Virtual (VS), Ciberseguridad, Computación en la Nube (The Cloud), Fabricación Aditiva (AM) y Realidad Aumentada todas ellas aplicadas en las siguientes herramientas JIT, Poka Yoke, Kanban, TQM, VSM y Kaizen [16].

C. Tipos de Organizaciones investigadas

En la siguiente tabla V se determinó que hay un mayor tamaño de muestra en los estudios con encuestas y el tamaño de la empresa en las que fue aplicada. De esa manera, se observa una tendencia con estudios enfocados a las pequeñas y medianas empresas para mejorar su eficiencia. El mayor número de estudios revisados se enfocaron en las Medianas empresas con 13 artículos, le siguen las PYMES que incluyen las Pequeñas y Medianas empresas con 6 documentos y, por último, las grandes empresas. De igual forma se infiere que el tamaño de la empresa no impide el uso de las tecnologías para mejorar su eficiencia.

TABLA V
RELACIÓN DE TIPO DE ESTUDIO SEGÚN TAMAÑO DE LA ORGANIZACIÓN

Tipo de estudio	MEDIANA	PYME	GRAN Y PYME	GRAN Y MED	Total
Estudio de caso	4	4		1	9
Estudio experimental	5	1			6
Estudio con encuestas	1	1	2		4
Investigación	3				3
Total	13	6	2	1	22

D. Beneficio del Lean Manufacturing con Industria 4.0

Con la industria 4.0 el sistema de fabricación debe ser automatizado en integración con las herramientas del Lean Manufacturing. Con lo cual, se logra un equilibrio entre los 5 parámetros de la automatización que son: eficiencia productiva, tiempo de actividad, tiempo de cambio, flexibilidad y costo [19]. La ventaja de las tecnologías de captura y análisis de datos es obtener principalmente los datos relevantes y emplearlos para controlar los procesos dentro de los parámetros aceptables. Es decir, que conforme los dispositivos informáticos se hacen más pequeños y económicos, es más factible adaptarlos para satisfacer las necesidades en la industria donde se encuentren. De esta manera, se posibilita que las máquinas puedan recolectar datos, medir indicadores clave de desempeño y monitorear la eficiencia operativa [21].

Abdulnour et al. [18] dio prioridad a las tecnologías digitales de fábrica (por ejemplo, tecnología que impacta directamente en la productividad, la calidad y la seguridad de los procesos de fabricación) que se complementan con las herramientas del Lean Manufacturing (LM). Recomendando comprar e implementar robots/cobots en la línea de producción. Además, adquirir un software que conecta máquinas entre sí mediante el Internet de las cosas (IoT). Esto facilitará la monitorización de la producción en tiempo real y la obtención de datos significativos sobre la fabricación de ciertos elementos y sobre la condición de ciertas maquinarias. La transformación hacia una era de fabricación más digitalizada puede ser más exitosa si la organización aplica previamente el Lean Manufacturing antes de la implementación del Internet de las cosas. Los hallazgos señalaron que el perfeccionamiento del tránsito de datos es la ventaja más relevante obtenida al fusionar LM e IoT, seguida de cerca por los elementos de toma de decisiones, rendimiento y agilidad [22].

La implementación de tecnologías del IoT especialmente la Big Data con las herramientas del LM como el Just in Time (JIT) y Kanban, permitirá una adecuada identificación rápida de problemas potenciales que pueden alterar el programa de producción original e impactar negativamente el ritmo de

producción. Por lo tanto, ayuda a agilizar la solución de problemas al pasar de acciones reactivas a preventivas. A su vez, aumenta la estabilidad del proceso y se pueden anticipar problemas potenciales que pongan en peligro la entrega según las necesidades de los clientes internos/externos [14]. En la cadena de suministro es factible examinar datos detallados de los procesos de producción en tiempo real, ayudando a identificar tendencias y derivar reglas para el sistema, lo que optimiza el desempeño [16]. Respecto a Big Data junto con el Value Stream Mapping (VSM) facilita la recopilación y el intercambio de información. Así, permite una programación más confiable de múltiples estaciones de trabajo, lo que puede ser beneficioso para los flujos de materiales compuestos por acuerdos de taller donde se produce.

La técnica ANN en el Lean, es que el “liderazgo de la alta dirección”, el “enfoque en el cliente” y la “capacitación y aprendizaje de los empleados” desempeñan un papel vital para lograr la preparación para Lean 4.0 en las PYMES manufactureras [23]. Esta técnica estadística basada en redes neuronales es de las más utilizadas.

La Industria 4.0 en el LM se conduce a una alta mejora del rendimiento operativo. Por lo tanto, existen novedosas herramientas, llamadas Sustainable VSM, Extended SMED, como extensiones de herramientas Lean populares combinadas con tecnologías adecuadas de Industria 4.0. Se expone un ejemplo práctico para comprobar la eficacia del instrumento Digital Poka-Yoke. Como consecuencia, este innovador dispositivo potencia exitosamente la habilidad del procedimiento y la eficiencia de la producción, lo que se traduce en un sistema de manufactura inteligente y sustentable [24].

El uso de la simulación, el modelado y la creación de prototipos para la comprensión del tiempo, y la deposición láser directa para el diseño del producto que aplicaban TQM se enfocaron en generar rutas válidas para que un robot se moviera desde un punto de partida a un destino navegando a través de obstáculos. La fabricación asistida por computadora (CAM) posibilita obtener un beneficio destacado en lo que respecta a las 4 áreas fundamentales de la producción: el tránsito de datos, sincronización de procedimientos, uso eficaz de los recursos y adaptabilidad [19].

Aplicar Kaizen con la digitalización se transforma en la herramienta RxM que es una forma de mantenimiento de cómo actuar a la hora de tomar decisiones efectivas frente a las anomalías de las fallas de los equipos. La aplicación del RxM hace que sean específicas y efectivas el reducir las falsas alarmas de las fallas de los equipos. Sin embargo, se debe analizar en conjunto con otros indicadores de rendimiento, como la recuperación y la exactitud, para lograr una comprensión completa del efecto global del modelo en la táctica de mantenimiento [25].

Tripathi et al. [17] considera 3 herramientas esenciales del LM como el Just-in-Time (JIT), el Kaizen, el mantenimiento productivo total (TPM) con softwares que ayudan a los individuos de la industria a analizar la planificación de la producción y sugerir un plan de acción exacto para mejorar la

excelencia operativa en el taller, incluido el entorno de Industria 4.0. Las herramientas del LM como Kaizen, TQM, Six Sigma (SS) integrada a la inteligencia computacional, enfatizan la importancia en el modelado y la creación de prototipos para la línea de producción. El enfoque híbrido se da con el fin de mejorar la productividad y eliminar los problemas de gestión operativa en la empresa. Con ello, esto aplica a reducir el costo de fabricación y aumentar la productividad al acortar el tiempo de ciclo y el tiempo de inactividad [20].

Para discutir posibles desafíos y oportunidades de combinar Lean y tecnologías digitales futuras, los artículos pueden servir como base. Estos aportan claridad a la relación entre las tecnologías digitales actuales en la producción y las prácticas Lean. [26]. A continuación, se muestra en la tabla VI acerca de la interrelación de las tecnologías de la Industria 4.0 con las herramientas del Lean Manufacturing de los artículos investigados:

TABLA VI
CONEXIÓN DEL LEAN MANUFACTURING Y LA INDUSTRIA 4.0

Tecnologías de la industria 4.0									
Herramientas del LM	Simulación	Robótica	Softwares	Sensores	Big Data	Técnica ANN	Realidad aumentada	Ciberseguridad	RxM
5 S		X							
TQM	X		X	X	X				
JIT	X		X	X	X		X	X	
JIDOKA	X		X	X		X			
KAIZEN	X		X	X	X		X	X	X
TPM	X		X	X	X		X	X	
VSM	X		X	X	X		X	X	
ANDON	X								
KANBAN	X				X	X	X	X	
POKA YOKE	X				X		X	X	
SIX SIGMA					X				
SMED		X							

E. Eficiencia operativa en las industrias

Según la figura 7, las acciones del Lean llevadas a cabo para la implementación de I4.0 permitieron incrementar la capacidad de la línea de producción de cinco estructuras por semana a seis estructuras por semana, lo que representa un aumento del 20% la producción. Basándose en la experiencia de campo y el apoyo del robot, se estimó que el tiempo de soldadura se reduciría en un 30%. Se construyó una celda de producción con un robot, un cobot y luego se validó el tiempo. Con los cobots se redujo en un 10% el tiempo de soldadura y 15 min de preparación. El tiempo de la estructura se acorta en un 3,9% al usar un cobot (de 135,2 h a 129,9 h). Al usar un robot, el tiempo se reduce en un 3,3% (de 134,8 h a 130,3 h) [18],[19].

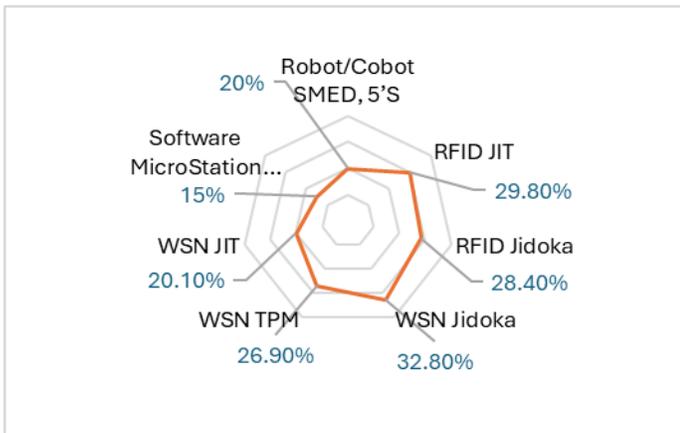


Fig. 7 Eficiencia operativa obtenida de los artículos

Los datos sobre la mejora de los métodos LM mediante las tecnologías de IoT mediante el uso del JIT aumentaron su eficiencia en un 29,8 % y el Jidoka se incrementó en 28,4 % que son los métodos LM que más mejoran con RFID. Referente al software WSN potencia el Jidoka en 32,8 %, TPM aumento en 26,9 % y el JIT en 20,1 % [22]. La capacidad de producción aumentó significativamente en un 85% al usar JIT, TPM y Kaizen con un software. Los defectos de fabricación disminuyeron drásticamente al 95%, el costo de producción bajó drásticamente al 56% y la utilización de la maquinaria se incrementó en un 17% [17].

La simulación integrada con el TQM en la línea de producción aumentó su productividad de 3.07 a 4.17 [27]. La empresa T logró eliminar las variaciones innecesarias y mejorar el desempeño del negocio al implementar la simulación junto con Poka Yoke. El coeficiente de habilidad del procedimiento, Cpk, se elevó de 1.278 Cpk a 2 Cpk y la eficiencia de la producción avanzó del 99,44% al 100% [24].

Medyński et al. [28] utilizó un software especializado MicroStation para mejorar el mantenimiento de máquinas para la producción. La digitalización del TPM aumentó significativamente la funcionalidad de la herramienta y mejoró el 15% su efectividad según el tiempo de inspecciones realizadas. La eficiencia en dicho estudio y caso aplicado mejoró progresivamente y las averías se redujeron en un 20% ya que se tomaron en cuenta que cada cierto tiempo se deben hacer revisiones y tomando en cuenta que el software se inculco para que cada máquina este con un control preventivo.

Se concibe la Industria 4.0 como una estrategia para ser competitivos en los mercados globales, fusionando sistemas de producción Lean con soluciones efectivas y flexibles, mejorando los flujos y la eficacia de los procesos, así como la eficiencia de la maquinaria. [19]. Asimismo, la observación del sistema productivo y los datos recabados es fundamental, siendo un recurso indispensable para guiar y cumplir los objetivos de la empresa. Se ha presentado muchas veces como la solución que asegurará el éxito del sector productivo en la era digital por si sola, dejando un vacío en los esfuerzos por mejorar los procesos organizativos utilizados hasta entonces,

por eso se complementan con las herramientas del Lean Manufacturing [15],[32].

F. Tendencia de aplicar las tecnologías de la Industria 4.0 a las herramientas del Lean Manufacturing

La implementación de Lean es un prerrequisito importante para implementar Industria 4.0. Las etapas de implementación de mejora eficiente y continua, agilidad e innovación y automatización de procesos son factores que facilitan la implementación de I4.0 para responder de manera exitosa a los desafíos de la personalización masiva [18]. También, indica que las organizaciones que ya han aplicado LM tienen más posibilidades de implementar con éxito tecnologías de IoT [22].

Por otro lado, según los hallazgos de Bokhorst et al. [30] indican que no siempre integrar el Lean y la industria 4.0 es el camino más apropiado, sino que hay circunstancias en las que es suficiente solo aplicando el Lean.

Los estudios del caso que se han realizado por Almoslehy et al. [19] han demostrado con un nivel de confianza del 99%, que las empresas que integran el Lean Manufacturing con la industria 4.0. tienen mucho más éxito que aquellas que no adoptan este enfoque. Las tendencias de aplicar la tecnología de la industria 4.0 es una asociación positiva con las herramientas del LM. Además, dependen en gran medida del conocimiento, la voluntad, la comprensión y las prácticas de la alta dirección y de los empleados [23].

No todas las pequeñas y medianas empresas pueden implementar softwares en la línea de producción. Como resultado, la industria manufacturera tradicional no puede comprar ni utilizar este tipo de software debido a sus recursos limitados [31]. Además, señalan que las empresas grandes son beneficiadas más en el desempeño que en relación con las PYMES ya que las condiciones como disponibilidad de conocimientos, tiempo y dinero suficiente son más favorables en las grandes organizaciones [30].

IV. DISCUSIÓN

En efecto, según los resultados los tipos de tecnologías 4.0 que causan el desarrollo de las herramientas lean en dicha investigación, fueron en su gran mayoría Software RIF [22], [20],[32] y Big Data [14]–[16], [20], [33], ya que, proporcionan datos, prototipos e influencias donde claramente se observan la evolución de estas herramientas para un fin ya sea actual o en futuro para que las organizaciones donde se aplique ello. Para esto, es evidente que existe una correlación, ya que, la implementación de Lean es un prerrequisito importante para implementar I4.0. Es decir, que los resultados muestran una mejora eficiente y continua, agilidad e innovación y automatización de procesos que contribuyen a la evolución para responder con éxito a los desafíos de cada organización.

Por otro lado, según la totalidad de los artículos considerados, se observó que en algunos de ellos no había una

adecuada complementación o mejor llamado ‘evolución’, ya que, los resultados de los documentos investigados no se mostraban de manera clara, porque bien había una correlación pequeña o casi nula [32], [34].

Los resultados muestran que los artículos revisados, aplican las tecnologías de la Industria 4.0 a las herramientas del Lean Manufacturing, es decir, no es homogénea y universal, sino que depende de diversos factores contextuales, como el tipo, el tamaño, el sector y la madurez de las empresas. Así, se constata que las grandes empresas tienen más ventajas y recursos para adoptar e integrar las tecnologías de la industria 4.0, mientras que las PYMES se enfrentan a mayores barreras y limitaciones. Además, se reconoce que no todas las empresas necesitan o pueden aplicar la industria 4.0 y que en algunos casos puede ser suficiente con el Lean Manufacturing [20],[24].

En cuanto, a las herramientas Lean que prevalecen mejor en la industria 4.0, considerando los resultados obtenidos al investigar para implementar una mejora continua y eficiente, donde el principal problema visto en cada artículo estudiado es una adecuada corrección al aplicar el Lean 4.0. Por ende, el JIT y TPM se implementaron en su mayoría para el correcto aprovechamiento en la industria 4.0. Con ello, los siguientes documentos lo muestran así [22], [20], [21], [15], [32].

Teniendo en cuenta ello, las herramientas son beneficiadas en la industria 4.0, ya que, hay un adecuado complemento entre sí, con la finalidad de que se implementen en desarrollar una mejora continua y eficiente, donde el principal problema visto en cada artículo estudiado se demuestre una adecuada corrección al aplicar el Lean 4.0. Por ende, el JIT y TPM fueron en su mayoría implementados para el correcto aprovechamiento en la industria 4.0. También, existe un efecto positivo entre la implementación del Lean Manufacturing y la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0, ya que ambas buscan mejorar la eficiencia operativa, la calidad, la flexibilidad y la innovación de los procesos productivos. La tecnología utilizada integrada con el Lean Manufacturing, permite resultados claros y precisos en puntos donde se quiera trabajar en este caso en la parte de la atención de los clientes y la programación de una adecuada producción [35],[28]. Se han encontrado evidencias de que la implementación del Lean Manufacturing facilita la adopción de las tecnologías de la industria 4.0, ya que estas a su vez potencian los métodos y las herramientas del LM. Se han reportado casos favorables en los que se han logrado aumentar la capacidad de producción [18], reducir el tiempo de soldadura, disminuir los defectos de fabricación, bajar el costo de producción, mejorar la utilización de la maquinaria mediante la aplicación de tecnologías como el robot, cobot[19], el RFID, el WSN [22], la simulación [27] y la técnica ANN [23]. No obstante, también se constata que hay algunas diferencias y contradicciones entre las perspectivas que pueden obstaculizar su integración, ya que el Lean Manufacturing se fundamenta en la reducción de desperdicios y la simplificación de las operaciones, mientras que la

Industria 4.0 implica una mayor complejidad y digitalización de los sistemas. La integración es un proceso complejo y dinámico que debe ajustarse a las necesidades y capacidades de cada empresa, que debe estar en consonancia con sus estrategias y objetivos.

Las limitaciones de este artículo fueron dificultad para medir y comparar los efectos de la implementación de las herramientas lean y las tecnologías de la industria 4.0 en diferentes contextos, sectores y tipos de empresas, debido a la diversidad y complejidad de los factores que intervienen en los procesos productivos y en los resultados obtenidos. Además, la escasez de estudios de casos implementados en empresas que evidencien las sinergias, los beneficios y los desafíos, así como las mejores prácticas y las lecciones aprendidas de las experiencias exitosas y fallidas de las empresas que han adoptado esta estrategia. Se sugiere como futuros trabajos realizar más investigaciones que profundicen en el análisis de los factores que facilitan o dificultan la integración del Lean Manufacturing y la Industria 4.0, así como en el diseño y la evaluación de soluciones personalizadas y adaptadas a las características y necesidades específicas de cada empresa, sector y contexto.

V. CONCLUSIÓN

Esta investigación identificó las herramientas de Lean Manufacturing que mejor se adecuan con las tecnologías de la industria 4.0 tales como: SMED y 5'S con los robots/cobots; Just in Time, Jidoka con RFID, WSN; TPM con WSN y softwares, Kaizen con Softwares y, por último, Poka Yoke y TQM con Simulación. La aplicación de la Industria 4.0 al Lean Manufacturing es una estrategia que puede mejorar el desempeño de las empresas, pero que también implica retos y adaptaciones. La integración de ambas metodologías no es igual para todas las empresas, sino que depende de sus características y condiciones específicas. Las empresas deben analizar su situación y sus objetivos, y elegir las tecnologías y las herramientas más adecuadas para su caso. La Industria 4.0 no es una solución mágica ni una obligación, sino una oportunidad que debe ser aprovechada con criterio y responsabilidad.

La combinación del Lean Manufacturing y la Industria 4.0 ofrece beneficios para las empresas que quieren optimizar sus procesos productivos y satisfacer las necesidades de sus clientes. Ambas metodologías se complementan y se potencian mutuamente, pero también presentan desafíos y dificultades para su integración. Es necesario que las empresas evalúen sus capacidades y objetivos, y adapten las tecnologías y las herramientas a su contexto específico. La integración requiere un cambio cultural y organizacional que involucre a todos los niveles de la empresa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica del Perú por el soporte en la infraestructura y desarrollo del presente trabajo.

REFERENCES

- [1] F. Hermundsdottir and A. Aspelund, "Sustainability innovations and firm competitiveness: A review," *J Clean Prod*, vol. 280, p. 124715, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.124715.
- [2] B. Meindl, N. F. Ayala, J. Mendonça, and A. G. Frank, "The four smarts of Industry 4.0: Evolution of ten years of research and future perspectives," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 168, p. 120784, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.TECHFORE.2021.120784.
- [3] L. He, M. Xue, and B. Gu, "Internet-of-things enabled supply chain planning and coordination with big data services: Certain theoretic implications," *Journal of Management Science and Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 1–22, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.JMSE.2020.03.002.
- [4] A. Rejeb, Z. Suhaiza, K. Rejeb, S. Seuring, and H. Treiblmaier, "The Internet of Things and the circular economy: A systematic literature review and research agenda," *J Clean Prod*, vol. 350, p. 131439, May 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.131439.
- [5] B. L. Treviño-Elizondo, H. García-Reyes, and R. E. Peimbert-García, "A Maturity Model to Become a Smart Organization Based on Lean and Industry 4.0 Synergy," *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 13151, vol. 15, no. 17, p. 13151, Sep. 2023, doi: 10.3390/SU151713151.
- [6] S. M. Saad, R. Bahadori, C. Bhowar, and H. Zhang, "Industry 4.0 and Lean Manufacturing – a systematic review of the state-of-the-art literature and key recommendations for future research," *International Journal of Lean Six Sigma*, 2023, doi: 10.1108/IJLSS-02-2022-0021.
- [7] S. M. Saad, R. Bahadori, C. Bhowar, and H. Zhang, "Industry 4.0 and Lean Manufacturing – a systematic review of the state-of-the-art literature and key recommendations for future research," *International Journal of Lean Six Sigma*, 2023, doi: 10.1108/IJLSS-02-2022-0021.
- [8] M. Ramadan, "Industry 4.0: Development of Smart Sunroof Ambient Light Manufacturing System for Automotive Industry," 2019 *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences, ASET 2019*, p. 2019, doi: 10.1109/ICASET.2019.8714236.
- [9] H. Majiwala, S. Sharma, and P. Gandhi, "Lean and Industry 4.0 Strive to Create Smart Factory Through Integration of Systems: An Exploratory Review," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1122, pp. 184–195, Jan. 2020, doi: 10.1007/978-3-030-39875-0_20.
- [10] C. Cimini, A. Boffelli, A. Lagorio, M. Kalchschmidt, and R. Pinto, "How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 32, no. 3, pp. 695–721, Mar. 2021, doi: 10.1108/JMTM-04-2019-0135.
- [11] G. L. Tortorella, R. Giglio, and D. H. van Dun, "Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 39, pp. 860–886, 2019, doi: 10.1108/IJOPM-01-2019-0005.
- [12] A. H. G. Rossi et al., "Lean Tools in the Context of Industry 4.0: Literature Review, Implementation and Trends," *Sustainability* (Switzerland), vol. 14, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/SU141912295.
- [13] M. J. Page et al., "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, p. n71, Mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [14] G. L. Tortorella, R. Giglio, and D. H. van Dun, "Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement," *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 39, pp. 860–886, 2019, doi: 10.1108/IJOPM-01-2019-0005.
- [15] G. L. Tortorella, N. Pradhan, E. Macias de Anda, S. Trevino Martinez, R. Sawhney, and M. Kumar, "Designing lean value streams in the fourth industrial revolution era: proposition of technology-integrated guidelines," *Int J Prod Res*, vol. 58, no. 16, pp. 5020–5033, 2020, doi: 10.1080/00207543.2020.1743893.
- [16] L. S. Valamede and A. C. S. Akkari, "Lean 4.0: A new holistic approach for the integration of lean manufacturing tools and digital technologies," *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 854–868, Oct. 2020, doi: 10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066.
- [17] V. Tripathi, S. Chattopadhyaya, A. K. Mukhopadhyay, S. Sharma, C. Li, and G. Di Bona, "A Sustainable Methodology Using Lean and Smart Manufacturing for the Cleaner Production of Shop Floor Management in Industry 4.0," *Mathematics*, vol. 10, no. 3, 2022, doi: 10.3390/math10030347.
- [18] S. Abdulnour, C. Baril, G. Abdulnour, and S. Gamache, "Implementation of Industry 4.0 Principles and Tools: Simulation and Case Study in a Manufacturing SME," *Sustainability* (Switzerland), vol. 14, no. 10, 2022, doi: 10.3390/su14106336.
- [19] S. A. M. Almoslehy and M. S. Alkahtani, "Key approaches, risks, and product performance in managing the development process of complex products sustainably," *Sustainability* (Switzerland), vol. 13, no. 9, 2021, doi: 10.3390/su13094727.
- [20] V. Tripathi et al., "Recent Progression Developments on Process Optimization Approach for Inherent Issues in Production Shop Floor Management for Industry 4.0," *Processes*, vol. 10, no. 8, 2022, doi: 10.3390/pr10081587.
- [21] G. Garcia-Garcia, G. Coulthard, S. Jagtap, M. Afy-Shararah, J. Patsavellas, and K. Salonitis, "Business process re-engineering to digitalise quality control checks for reducing physical waste and resource use in a food company," *Sustainability* (Switzerland), vol. 13, no. 22, 2021, doi: 10.3390/su132212341.
- [22] A. Anosike, K. Alafropatis, J. A. Garza-Reyes, A. Kumar, S. Luthra, and L. Rocha-Lona, "Lean manufacturing and internet of things – A synergistic or antagonist relationship?," *Comput Ind*, vol. 129, 2021, doi: 10.1016/j.compind.2021.103464.
- [23] K. M. Qureshi, B. G. Mewada, S. Kaur, and M. R. N. M. Qureshi, "Assessing Lean 4.0 for Industry 4.0 Readiness Using PLS-SEM towards Sustainable Manufacturing Supply Chain," *Sustainability* (Switzerland), vol. 15, no. 5, 2023, doi: 10.3390/su15053950.
- [24] B. Rahardjo, F.-K. Wang, R.-H. Yeh, and Y.-P. Chen, "Lean Manufacturing in Industry 4.0: A Smart and Sustainable Manufacturing System," *Machines*, vol. 11, no. 1, 2023, doi: 10.3390/machines11010072.
- [25] M. Shahin, F. F. Chen, A. Hosseinzadeh, and N. Zand, "Using machine learning and deep learning algorithms for downtime minimization in manufacturing systems: an early failure detection diagnostic service," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 128, no. 9–10, pp. 3857–3883, Oct. 2023, doi: 10.1007/s00170-023-12020-w.
- [26] R. von Haartman, L. Bengtsson, and C. Niss, "Lean practices and the adoption of digital technologies in production," *International Journal of Services and Operations Management*, vol. 40, no. 2, pp. 286–304, 2021, doi: 10.1504/IJSOM.2021.118260.
- [27] T. Ito, M. S. Abd Rahman, E. Mohamad, A. A. Abd Rahman, and M. R. Salleh, "Internet of things and simulation approach for decision support system in lean manufacturing," *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, vol. 14, no. 2, 2020, doi: 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0027.
- [28] D. Medyński et al., "Digital Standardization of Lean Manufacturing Tools According to Industry 4.0 Concept," *Applied Sciences* (Switzerland), vol. 13, no. 10, 2023, doi: 10.3390/app13106259.
- [29] D. Mendes, P. D. Gaspar, F. Charrua-Santos, and H. Navas, "Integrating TPM and Industry 4.0 to Increase the Availability of Industrial Assets: A Case Study on a Conveyor Belt," *Processes*, vol. 11, no. 7, 2023, doi: 10.3390/pr11071956.
- [30] J. A. C. Bokhorst, W. Knol, J. Slomp, and T. Bortolotti, "Assessing to what extent smart manufacturing builds on lean principles," *Int J Prod Econ*, vol. 253, 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108599.
- [31] L.-Y. Lu, C.-E. Chang, C.-L. Tung, C.-Y. Lu, T.-J. Su, and L.-W. Lee, "Application of Digital Visualization in Traditional Manufacturing Transformation," *Sensors and Materials*, vol. 35, no. 6, pp. 2139–2148, 2023, doi: 10.18494/SAM4372.
- [32] A. Yilmaz, M. Dora, B. Hezarkhani, and M. Kumar, "Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 175, 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2021.121320.
- [33] S. P. Gayialis, E. P. Kechagias, G. D. Konstantakopoulos, and G. A. Papadopoulos, "A Predictive Maintenance System for Reverse Supply Chain Operations," *Logistics*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.3390/logistics6010004.

- [34]V. Tripathi et al., "A Novel Smart Production Management System for the Enhancement of Industrial Sustainability in Industry 4.0," *Math Probl Eng*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6424869.
- [35]G. L. Tortorella and D. Fettermann, "Implementación de la industria 4.0 y producción ajustada en empresas manufactureras brasileñas.," *Revista internacional de investigación de producción*, vol. 56, no. 8, pp. 2975–2987, doi: 10.1080/00207543.2017.1391420.