

Industry 4.0 in process optimization in the industrial sector: Systematic Literature Review

Jheremy Jhonny Ore Gavilán¹, Laura Paola Rodríguez Cruces², Leidy Lucia Méndez-Gutiérrez³, Antonio Malpartida Neri⁴

¹Universidad Tecnológica del Perú, U17100053@utp.edu.pe

²Universidad Tecnológica del Perú, U21205264@utp.edu.pe

³Universidad Tecnológica del Perú, C31241@utp.edu.pe

⁴Universidad Tecnológica del Perú, C20450@utp.edu.pe

Abstract—This Systematic Literature Review (SLR) addressed the effectiveness of Industry 4.0 methodologies for waste reduction in production processes. However, strengths and weaknesses were identified in the waste elimination process that limit the efficient use of resources. Therefore, the objective was to evaluate the most effective I4.0 technologies and tools to eliminate waste in the production processes of the industrial sector. To achieve this objective, a qualitative, quantitative and mixed research, corresponding to a systematic literature review, was used. Based on the established inclusion and exclusion criteria, 30 open access articles were selected from the Scopus and Scielo databases. The results showed that the most frequent types of waste in production processes are: material defects, waiting times, unnecessary movements and excessive processing. Likewise, it was identified that Artificial Intelligence (AI) was the most implemented technology in the analyzed studies. In conclusion, it was determined that Artificial Intelligence is one of the most efficient tools for process optimization in the industrial sector, reporting substantial improvements of up to 61.00%.

Keywords-Industry 4.0, Industrial Sector, 3D, Artificial Intelligence, Process.

Industria 4.0 en la optimización de procesos en el sector industrial: Revisión Sistemática de Literatura

Resumen— La presente Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) abordó la eficacia de las metodologías de la Industria 4.0 para la reducción de desperdicios en los procesos de producción. No obstante, se identificaron fortalezas y debilidades en el proceso de eliminación de desperdicios que limitan el uso eficiente de los recursos. Por ello, se planteó como objetivo evaluar las tecnologías y herramientas más efectivas de la I4.0 para eliminar desperdicios en los procesos productivos del sector industrial. Para alcanzar este objetivo, se empleó una investigación cualitativa, cuantitativa y mixta, correspondiente a una revisión sistemática de literatura. Con base en los criterios de inclusión y exclusión establecidos, se seleccionaron 30 artículos de libre acceso provenientes de las bases de datos Scopus y Scielo. Los resultados evidenciaron que los tipos de desperdicio más frecuentes en los procesos de producción son: defectos de material, tiempos de espera, movimientos innecesarios y procesamiento excesivo. Asimismo, se identificó que la Inteligencia Artificial (IA) fue la tecnología más implementada en los estudios analizados. En conclusión, se determinó que la Inteligencia Artificial es una de las herramientas más eficientes para la optimización de procesos en el sector industrial, reportando mejoras sustanciales de hasta un 61.00%.

Palabras claves— Industria 4.0, Sector Industrial, 3D, Inteligencia Artificial, Procesos.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la Industria 4.0 ha sido objeto de mayor relevancia por la optimización de procesos con el propósito de incrementar la eficiencia, solucionando cualquier circunstancia o inconveniente en el ámbito industrial, centrados en la eficacia, la mejora constante y la eliminación de los desperdicios en los procesos productivos siendo una acción que involucra a los integrantes de la empresa [1][2]. El aumento a esta necesidad sitúa a la en un punto crucial donde su atención es asegurar sistemas industriales resistentes y sustentables a través de la implementación de tecnologías innovadoras para disminuir las pérdidas y los períodos en la línea de producción [3] [4].

Los distintos investigadores presentan el problema en sus estudios donde la relevancia está enfocada en la optimización mediante y el uso de las tecnologías I4.0 necesarias para optimizar los procesos y reduciendo los impactos negativos que generan como cuellos de botellas, desperdicios que conlleva a altos costos [5][6]. Para evitar esto el sector industrial ha optado por la implementación de herramientas I4.0, por ende, se realizará un análisis de los desperdicios en los procesos que no agregan valor en la producción mediante las herramientas, como Big data, IOT, AI, 3D, Automatización, Robótica, para la optimización en los procesos en el sistema de producción [7] [8].

La presente RSL se enfocará a identificar la metodología de I4.0 con sistemas fundamentales para la eficiencia

constante en la línea de producción [9]. Los estudios previos permitirán mostrar que tipo de herramienta y tecnologías de I4.0 en sistema de producción se centra en reducir los desperdicios en los procesos de producción. Además, el estudio proporcionara una mirada sobre el perjuicio al no emplear estas tecnologías I4.0 en el proceso de producción ya que son sistemas de producción más eficientes que mejorar la productividad [10] [11] [12].

Respecto a esta RSL tiene como propósito identificar las tecnologías y herramientas de la metodología Industria 4.0 que combinadas con sistemas de mejora continua contribuyen a incrementar la eficiencia de los procesos industriales.

Los estudios previos han destacado la relevancia de la I4.0 como el enfoque orientado a minimizar los desperdicios en los procesos, y al mismo tiempo generar valor para el consumidor final. La propuesta de soluciones basadas en los principios de la industria 4.0 busca ofrecer una visión integral que permite alcanzar una mayor efectividad y optimización en los procesos productivos del sector industrial.

Por lo tanto, esta investigación se estructura de esta manera. La sección 2, Metodología, está orientado en la implementación en la RSL, sobre herramientas y tecnologías I4.0 en la gestión de procesos, describiendo desde las preguntas de investigación. La sección 3, Resultados, expone y estructura los resultados logrados tras el análisis de las tecnologías y herramientas I4.0 conforme a una perspectiva fundamentada en la optimización de procesos. En la sección 4, Discusión, se propone el debate acerca de las fuentes y los estudios escogidos con una perspectiva global del estudio de Industria 4.0. Por último, en la sección 5, Conclusiones, se presentan de forma resumida los resultados más relevantes y las principales limitaciones identificadas en esta RSL, además de señalar posibles líneas de investigación que podrían explorarse en estudios futuros relacionados sobre este tema.

II. METODOLOGÍA

El modelo PICOC, antes de la elaboración de las preguntas de investigación, en la primera fase del proceso de investigación, se propuso la implementación de una metodología denominada PICOC.

A. Pregunta Principal

QP: ¿Cómo impacta positivamente de las herramientas y tecnologías 4.0 (I) para reducir los desperdicios en los procesos (P) y la optimización de procesos (O), en el sector industrial (C)?

TABLA I
COMPONENTES PIOC – PALABRAS CLAVES

P	Problema	RQ1: ¿Cuáles son los desperdicios en los procesos en el sector industrial?	process waste" OR waste OR defects OR reprocessing OR overproduction
I	Intervención	RQ2: ¿Cómo se define las herramientas y tecnologías de la Industria 4.0?	Industry 4.0" OR autonomous OR i4.0 OR "I4.0 technologies" OR "operator 4.0" OR automation OR sensor OR iot OR "blockchain" OR robot OR 3d OR "Artificial intelligence" OR ai OR "Augmented Reality" OR simulation OR "Cloud computing" OR "Autonomous robots" OR cybersecurity OR "Internet of things" OR "System integration" OR "Robotics"
C	Comparación	No se uso	No se uso
O	Resultados	RQ4: ¿Qué tan eficiente ha resultado la optimización de procesos mediante las herramientas y tecnologías de la Industria 4.0 en el sector industrial?	productivity OR efficiency OR optimization OR "process monitoring" OR "process control" OR "process optimization"
C	Contexto	RQ5: ¿Cuáles son las áreas en el sector industrial que se va analizar mediante la herramientas y tecnologías de la Industria 4.0?	"Industry sector" OR "industrial sector" OR industry OR industrial OR company OR fabric

B. Ecuación de búsqueda

La EB en Scopus y Scielo se colocaron palabras claves y conectores para buscar investigaciones importantes en base al tema de investigación.

TABLA II
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA DE PICOC

Ecuación de búsqueda con filtros de Scopus
(TITLE-ABS-KEY ("process waste" OR waste OR defects OR reprocessing OR overproduction) AND TITLE-ABS-KEY ("Industry 4.0" OR autonomous OR i4.0 OR "I4.0 technologies" OR "operator 4.0" OR automation OR sensor OR iot OR "blockchain" OR robot OR 3d OR "Artificial intelligence" OR ai OR "Augmented Reality" OR simulation OR "Cloud computing" OR "Autonomous robots" OR cybersecurity OR "Internet of things" OR "System integration" OR robotics) AND TITLE-ABS-KEY (productivity OR efficiency OR optimization OR "process monitoring" OR "process control" OR "process optimization") AND TITLE-ABS-KEY ("Industry sector" OR "industrial sector" OR industry OR industrial OR company OR fabric)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (OA, "all"))

Ecuación de búsqueda con filtros de Scielo
(ti:(process waste" OR waste OR defects OR reprocessing OR overproduction" OR "Industry 4.0" OR autonomous OR i4.0 OR "I4.0 technologies" OR "operator 4.0" OR automation OR sensor OR iot OR "blockchain" OR robot OR 3d OR "Artificial intelligence" OR ai OR "Augmented Reality" OR simulation OR "Cloud computing" OR "Autonomous robots" OR cybersecurity OR "Internet of things" OR "Industry sector" OR "industrial sector" OR industry OR industrial OR company OR fabric))

Tras la ecuación, se incorporó filtros en Scopus y Scielo para reducir el número de estudios y conseguir documentos vinculados a la investigación. Estos filtros corresponden a:

- Lenguaje: solo idioma inglés.
- Temporalidad: solo en el rango de los años 2020 al 2025.
- Tipo de documento: solo artículos.
- Documento de acceso libre.

Tras definir la EB, se llevó a cabo su inserción en el repositorio. "Scopus" para observar los desenlaces definitivos de las investigaciones. Luego, se emplearon algunos de los CE para disminuir las fuentes empleadas en la investigación. Esto resultó en 1722 artículos.

C. Búsqueda método PRISMA

El método de indagación PRISMA, es un procedimiento meticuloso y ordenado para reconocer y escoger investigaciones pertinentes que traten una cuestión de estudio. Se fundamenta con criterios I & E para asegurar la totalidad y pertinencia de las investigaciones [7].

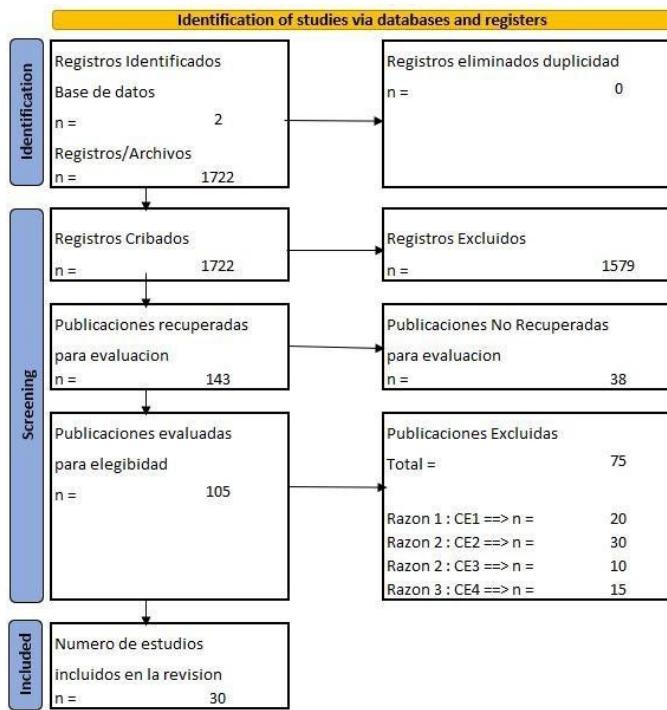


Fig. 1. Mapa del proceso Prisma.

Se hizo uso de la ecuación de búsqueda en Scopus y Cielo, logrando el total de 1722 investigaciones.

D. Criterios de CI y CE

Los CI y CE son directrices empleadas la investigación para establecer qué elementos o estudios deben tenerse en cuenta o eliminarse en el análisis siendo esenciales para preservar la importancia en el estudio.

CI:

- I1: El estudio debe abordar como problema de desperdicios en los procesos en las áreas del sector industrial.
- I2: Las investigaciones deben aplicarse o detallarse herramientas y tecnologías I4.0 para reducir los desperdicios en los procesos en el sector industrial.
- I3: Las investigaciones realizadas deben proporcionar hallazgos cuantitativo y cualitativo de la aplicación de herramientas y tecnologías Industria 4.0.
- I4: Las investigaciones se han llevado a cabo en contextos reales en la cadena de abastecimiento del sector industrial,

CE:

- E1: Se excluyen estudios que describan como problemática los desperdicios en los procesos en el sector industrial.

- E2: Se excluyen estudios que se hallen en la fase de aplicación de proyecto o que describan la herramienta o la tecnología de la industria 4.0 sin mencionar su implementación.
- E3: Se excluye estudios que no reportan resultados o que sus resultados hayan sido validados mediante de tecnologías de simulación.
- E4: Se excluye estudios que no se han desarrollado en entornos reales dentro de las actividades y operaciones necesarias para que un producto final en el sector industrial.

Por último, tras aplicar meticulosamente los criterios exclusión se descartaron 75 estudios. Al finalizar este proceso, se consiguieron 30 investigaciones que constituirán un componente esencial en la RSL.

III. RESULTADOS

En la presente Revisión Sistemática de la Literatura (RSL). Los resultados se dividieron en dos partes. Primero, se realizó un análisis de los datos bibliométrico y posteriormente se analizaron las características de los estudios que permitieron responder las preguntas planteadas, las cuales se describen a continuación.

A. Análisis bibliométrico de los estudios seleccionados:

Con respecto a los datos bibliométricos de los artículos escogidos se procedió a extraer lo siguiente: autores, título de estudio, revista y número de citaciones. Entre los resultados, destaca el estudio [11] con mayor número de citaciones, alcanzando un total de 109. Este estudio fue publicado en la revista “IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence” y se desarrolló en China, la cantidad de citaciones se debe a que el artículo presenta un estudio de caso enfocado en el uso de la Tecnología I4.0. Los resultados del estudio sugieren que esta metodología es prometedora para la sostenibilidad en el sector industrial, ya que utiliza los indicadores eficiencia y minimizar los desperdicios en los procesos.

En relación con los estudios revisados según su país de origen podemos mencionar que el país que tiene mayor incidencia en investigaciones sobre la Tecnología I4.0 en minimizar los desperdicios en los procesos es Reino Unido [3], [9], [17], [18], [27] y [28], con 6 publicaciones, tal como se muestra en la Fig. 2.

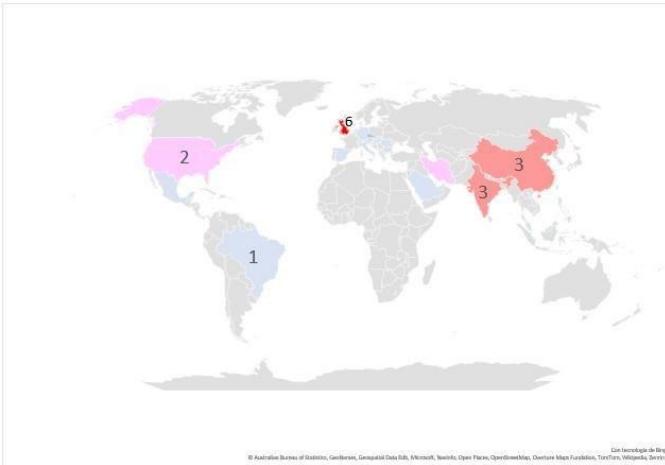


Fig. 2. Distribución geográfica de artículos.

Respecto a las publicaciones por año, el 2022 y 2025 se destaca como los años con mayor incidencia de publicaciones, con un total de 8 artículos cada uno [3], [5], [11], [16], [20], [23], [26], [28] y [1], [4], [6], [9], [10], [14], [29], [30], tal como se puede visualizar en la Fig. 3.

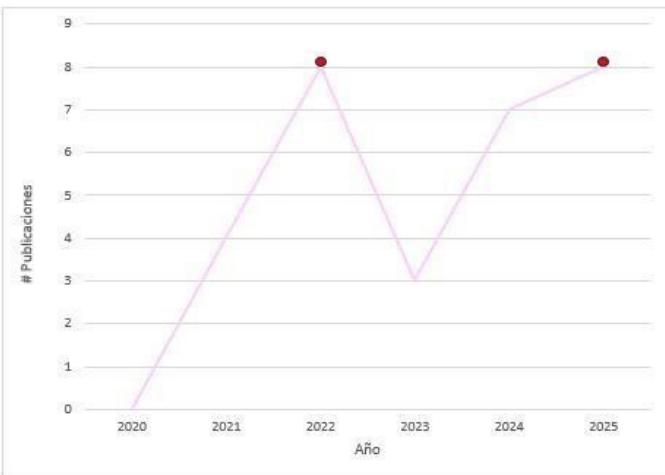


Fig. 3. Distribución de los artículos según año de publicación.

En el análisis de los datos bibliométricos de los 30 artículos seleccionados, respecto a las publicaciones por tipo de estudios se destaca como el Cuantitativo con mayor incidencia de publicaciones, con un total de 17 artículos [1], [2], [4], [6], [9], [10], [12], [13], [15], [16], [18], [21], [22], [24], [26], [27] y [29], como se muestra en la Fig. 4.

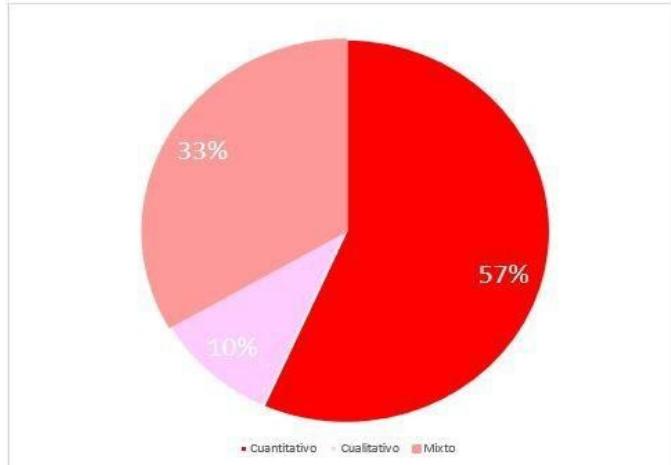


Fig. 4. Tipo de estudios.

B. Características de los estudios:

RQ5: ¿Cuáles son las áreas en el sector industrial que se va a analizar mediante las herramientas y tecnologías de la Industria 4.0?

1) *Contexto:* con respecto a los artículos analizados se evidencia que el sector donde se viene trabajando más con la Tecnología I4.0 es la industria Automotriz, de acuerdo con los autores [1], [4], [7], [10], [15], [17], [22], [26], [27] y [28], existiendo una diferencia, frente a los demás sectores como Metalúrgica, Hidráulica, Farmacéutica, Alimentaria, Química y Caucho, tal como se puede ver en la Fig. 5.

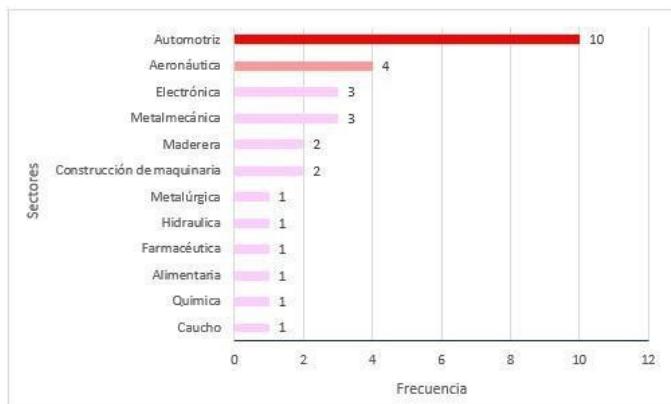


Fig. 5. Sectores industriales donde se viene trabajando con la Tecnología 4.0.

Tomando como referencia al contexto, se hizo una clasificación según el tamaño de la empresa donde se aplicaron las intervenciones, llegando a determinar que, en la mediana empresa, el 30% de las investigaciones se hicieron basadas en intervenciones; a diferencia, de la pequeña empresa con tan solo 7%, de las cuales, el 100% de ellas hicieron

implementaciones basadas en Tecnología I4.0. Así mismo, se resalta que la grande empresa tiene una frecuencia mayor de intervenciones en general, en sus procesos de mejora registrando el 63% de todas las registradas en la presente investigación, como se evidencia en los siguientes artículos: [1], [4], [5], [6], [7], [8], [10], [12], [14], [15], [17], [19], [22], [23], [25], [26], [27], [28] y [30], como se puede observar en la Fig. 6.

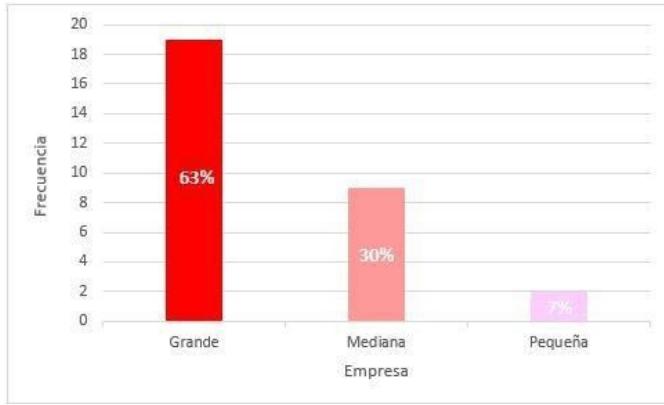


Fig. 6. Tamaño de empresa.

RQ1: ¿Cuáles son los desperdicios en los procesos en el sector industrial?

2) *Problema:* de acuerdo con el problema identificado, podemos mencionar que los principales tipos de desperdicios de procesos en el sector industrial son los defectos de material, sin embargo, se resalta también tiempos de espera que se encuentra en una segunda ubicación como tipo de desperdicios de procesos, tal cual, se puede observar en la Fig. 7.

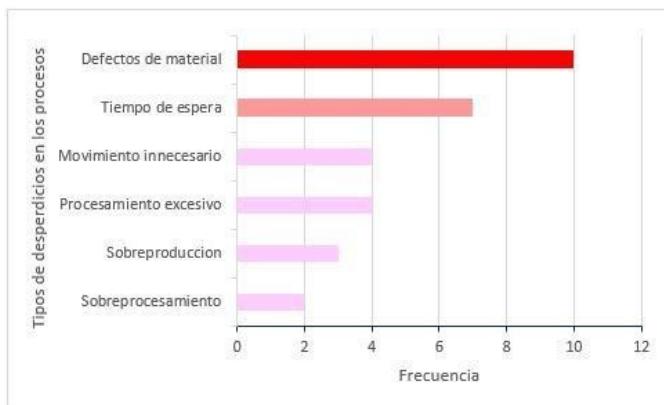


Fig. 7. Principales tipos de desperdicios de procesos.

RQ2: ¿Cómo se define las herramientas y tecnologías de la Industria 4.0?

3) *Intervención:* la herramienta de la I4.0 más utilizada para la optimización de procesos en el sector industrial, fue la

Inteligencia artificial, alcanzando con 15 participaciones en los estudios, resaltando así mismo que, junto con la 3D, presentaron 7 participaciones de los estudios siendo de las herramientas más utilizadas en las investigaciones revisadas, tal como se aprecia en la Figura 8.

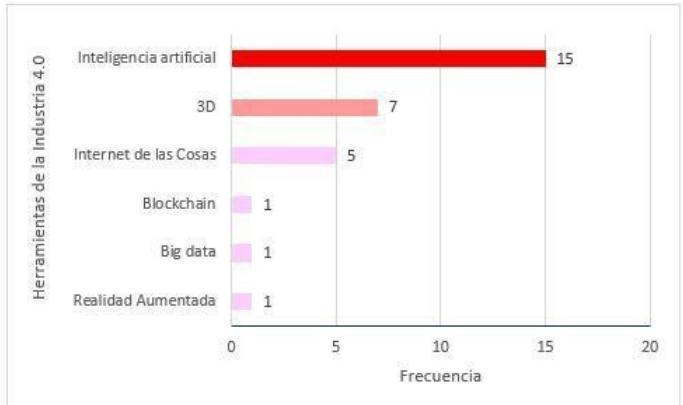


Fig. 8. Principales Herramientas 4.0

También, se identificaron las principales soluciones aplicadas por los autores, siendo la más representativa las Implementación en la Industria 4.0, con un 70% de participación, como se ilustra en la Figura 9. Así mismo, la Simulación es una tendencia de 23% de participación en las soluciones, que junto al Proyecto piloto con un 7%, se complementa en soluciones generando gran cantidad de datos que deben ser analizados oportunamente, tal como se aprecia en la Figura 9.

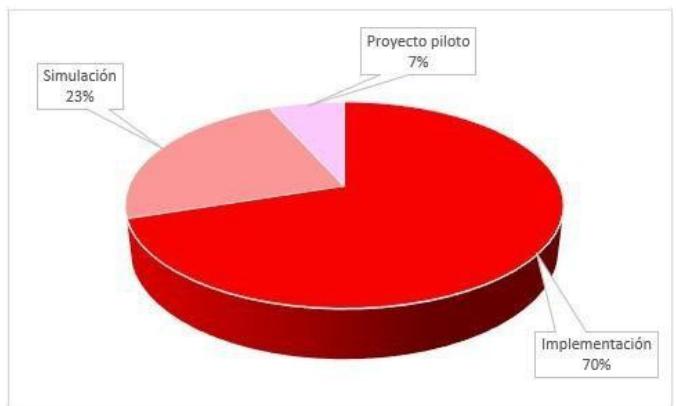


Fig. 9. Soluciones implementadas bajo Tecnología I4.0.

RQ4: ¿Qué tan eficiente ha resultado la optimización de procesos mediante las herramientas y tecnologías de la Industria 4.0 en el sector industrial?

4) Resultados: Los estudios analizados evidencian un aumento en la productividad tras la adopción de tecnologías de la Industria 4.0, observándose en la mayoría de los casos una mejora continua significativa. La Tabla III permite visualizar la efectividad antes y después de la implementación y el valor porcentual de la mejora que obtuvieron los estudios.

Del análisis de estos datos, se desprenden las siguientes conclusiones principales se encontró mejoras significativas en investigaciones como [1], [3], [5], [8], [9], [11], [12], [13], [15], [17], [20], [21].

[22], [23], [26] y [29] reportaron incrementos notables en la productividad, que superan el 49% y alcanzan hasta un 61%. Estos resultados reflejan tanto avances en la gestión ergonómica como una adecuada implementación de tecnologías I4.0 lo que evidencia su alto nivel de efectividad. En estudios como el [4], [7], [10], [14], [16], [19], [24], [25],

[28] y [30] se identificaron mejoras intermedias, es decir, incrementos en eficiencia que varían entre el 33% y el 45%. Si bien estos porcentajes son menores en comparación con los casos anteriores, siguen siendo relevantes y demuestran un impacto positivo en la optimización de procesos.

Los estudios [2], [6], [18] y [27] presentaron mejoras menores en productividad situados entre el 17% y el 30%. A pesar de ser más reducidos estos incrementos igualmente representan avances importantes en términos de eficiencia operativa.

En general los resultados obtenidos a partir de la comparación de la productividad antes y después de la intervención confirman la efectividad de las tecnologías I4.0. Los datos recopilados reflejan una tendencia positiva destacando el impacto favorable de estas tecnologías en la mejora de la eficiencia en los procesos industriales.

TABLA III

RESULTADOS DE EFICIENCIA DE OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS

Ref.	Indicadores	Antes	Después	Resultado (Mejora)
[1]	Eficiencia	30.69%	85.30%	54.61%
[4]	Eficiencia	20.00%	65.00%	45.00%
[6]	Rentabilidad	20.00%	50.00%	30.00%
[9]	Rentabilidad	25.00%	80.00%	55.00%
[10]	Rendimiento	30.67%	69.33%	38.66%
[14]	Rendimiento	30.00%	72.00%	42.00%
[29]	Rentabilidad	20.69%	79.30%	58.61%
[30]	Rendimiento	34.48%	73.52%	39.04%
[2]	Eficiencia	25.67%	45.33%	19.66%
[7]	Rendimiento	35.00%	74.00%	39.00%
[18]	Eficiencia	42.59%	59.41%	16.82%

[19]	Rendimiento	35.00%	70.00%	35.00%
[22]	Eficiencia	20.35%	81.65%	61.30%
[24]	OEE	34.00%	76.00%	42.00%
[27]	Eficiencia	34.00%	57.00%	23.00%
[8]	Eficiencia	17.00%	76.00%	59.00%
[21]	OEE	15.00%	75.00%	60.00%
[25]	Eficiencia	35.00%	68.00%	33.00%
[3]	Eficacia	20.00%	75.00%	55.00%
[5]	Eficiencia	24.00%	79.00%	55.00%
[11]	Eficacia	34.00%	85.00%	51.00%
[16]	OEE	33.00%	71.00%	38.00%
[20]	OEE	22.00%	71.00%	49.00%
[23]	Eficiencia	34.00%	85.00%	51.00%
[26]	Eficiencia	24.00%	85.00%	61.00%
[28]	OEE	43.00%	85.00%	42.00%
[12]	Eficacia	28.00%	85.00%	57.00%
[13]	OEE	24.00%	81.00%	57.00%
[15]	OEE	18.00%	70.00%	52.00%
[17]	Costos de calidad	20.00%	78.00%	58.00%

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta RSL confirman que las tecnologías de Industria 4.0 orientadas a la mejora continua contribuyen significativamente a la optimización de procesos en el sector industrial. Los niveles en la productividad observados varían desde avances moderados en investigaciones como [4], [7], [10], [14], [16], [19], [24], [25], [28] y [30], hasta mejoras notorias en estudios como [1], [3], [5], [8], [9], [11], [12], [13], [15], [17], [20], [21], [22], [23], [26] y [29]. Esta

variabilidad evidencia la importancia del contexto del problema, la efectividad de la identificación del problema y la correcta selección e implementación de las soluciones tecnológicas. Los resultados coinciden con estudios previos que destacan la eficacia de las tecnologías I4.0 en múltiples industrias [1], [4], [7], [10], [15], [17], [22], [26], [27] y [28].

Asimismo la aplicación de herramientas como la IA en estudios como [1], [3], [6], [8], [9], [11], [12], [13], [16], [19],

[21], [23], [25], [26] y [30] demuestra la versatilidad y eficiencia de estas herramientas dentro del entorno industrial. No obstante, en los estudios hay distintos niveles de eficiencia alcanzados, lo cual resalta que el éxito de estas soluciones depende de una implementación adecuada y adaptada al entorno específico. Ejemplos como los estudios [22] y [26], que reportan mejoras del 61.30% y 61.00% respectivamente, lo cual refleja que una estrategia que integre el análisis del problema con la implementación tecnológica resulta clave para obtener mejoras significativas. En el caso del estudio [22] el uso de impresión 3D y, en el estudio [26], la Inteligencia Artificial, ponen de manifiesto cómo tecnologías clave pueden transformar la eficiencia en los procesos productivos.

Por otro lado, los avances más discretos observados en estudios como [4] y [14] podrían atribuirse al uso de tecnologías con un alcance más específico. A pesar de que estas mejoras no son tan significativas, reflejan la importancia de intervenciones precisas y bien dirigidas en procesos concretos, lo que demuestra el valor de mejoras progresivas en sistemas ya mejorados. Estos resultados subrayan la necesidad de que las estrategias de optimización se adapten a las particularidades de cada contexto productivo para maximizar su efectividad.

Los tipos de desperdicios de procesos identificadas, tales como defectos de material, tiempo de espera, movimientos innecesarios y procesamiento excesivo. La identificación de estos desperdicios de procesos comunes en estudios como [3], [5], [6] y [13] sugiere áreas en el sector industrial para intervenciones enfocadas en la eficiencia de la optimización de procesos.

En consecuencia, la optimización de procesos industriales depende de la interacción entre un análisis detallado del

contexto, un diagnóstico riguroso y la selección adecuada de tecnologías de solución. La variabilidad en los resultados refleja no solo la eficiencia a las herramientas utilizadas, sino también la capacidad de integrarlas de manera efectiva y adaptada al entorno específico, lo que resalta la importancia de comprender las particularidades del entorno operativo para el éxito de la mejora continua.

Cabe destacar que la mejora continua es un proceso dinámico que exige constante adaptación a los cambios y retos que surgen en el sector industrial. Este enfoque flexible garantiza que las tecnologías de la Industria 4.0 no solo satisfagan las demandas actuales, sino que también permitan prepararse a los desafíos futuros en la producción. Los hallazgos de esta RSL evidencian que la implementación de tecnologías propias de la cuarta revolución industrial, como la digitalización y los sistemas inteligentes, puede impulsar tanto la eficiencia como la competitividad de las organizaciones en un entorno industrial cada vez más complejo y exigente. Este estudio resalta la importancia de implementar herramientas de la industria 4.0 como estrategia clave para optimizar los procesos y fortalecer la capacidad de adaptación en el sector productivo.

V. CONCLUSIÓN

La actual RSL ha puesto en evidencia que el uso de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 dentro del sector industrial genera mejoras significativas en la eficiencia. Sin embargo, también queda claro que alcanzar dichos beneficios requiere una comprensión exhaustiva del contexto donde abarque el tema del problema que se desea resolver y de la correcta adaptación de las soluciones. Las diferencias observadas en los niveles de optimización de procesos reflejan que herramientas como la Inteligencia Artificial, la Impresión 3D y el Internet de las Cosas deben ser aplicadas considerando las características de cada industria, abarcando tanto la mejora de procesos como el compromiso sostenido necesario para obtener resultados duraderos. En síntesis, la integración estratégica y adaptada al entorno de las acciones de mejora continua permite maximizar su impacto en la industria, constituyéndose además en una referencia útil para futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- [1] Abbas J.K.; Aghdeab S.H.; Al-Habaibeh A., "Investigating the effect of process parameters on surface roughness of AISI M2 steel in EDM using deep learning neural networks," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.137, no. 1, pp. 251-262, Feb.2025, doi: 10.1007/s00170-025-15184-9.
- [2] Altarazi F., "OPTIMIZING WASTE REDUCTION IN MANUFACTURING PROCESSES UTILIZING IOT DATA WITH MACHINE LEARNING APPROACH FOR SUSTAINABLE

- PRODUCTION,"Scalable Computing, vol.25, no. 5, pp. 4192-4204,Jun.2024, doi: 10.12694/scpe.v25i5.3191.
- [3] Althubiti S.A.; Alenezi F.; Shitharth S.; Sangeetha K.; Reddy C.V.S., "Circuit Manufacturing Defect Detection Using VGG16 Convolutional Neural Networks,"Wireless Communications and Mobile Computing, vol.2022, no. , pp. -,Apr.2022, doi: 10.1155/2022/1070405.
- [4] Bhoite TD.; Buktar RB., "Productivity enhancement in Indian auto component manufacturing supply chain with IoT using neural networks,"Production, vol.35, no. , pp. -,May.2025, doi: 10.1590/0103-6513.20240047.
- [5] Cavone G.; Bozza A.; Carli R.; Dotoli M., "MPC-Based Process Control of Deep Drawing: An Industry 4.0 Case Study in Automotive,"IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol.19, no. 3, pp. 1586-1598,Jul.2022, doi: 10.1109/TASE.2022.3177362.
- [6] Contreras Ortiz A.; Santiago R.R.; Hernandez D.E.; Lopez-Montiel M., "Multiclass Evaluation of Vision Transformers for Industrial Welding Defect Detection,"Mathematical and Computational Applications, vol.30, no. 2, pp. -,Feb.2025, doi: 10.3390/mca30020024.
- [7] Daraba D.; Pop F.; Daraba C., "Digital Twin Used in Real-Time Monitoring of Operations Performed on CNC Technological Equipment,"Applied Sciences (Switzerland), vol.14, no. 22, pp. -,Nov.2024, doi: 10.3390/app142210088.
- [8] Duc M.L.; Nedoma J.; Bilik P.; Martinek R.; Hlavaty L.; Thao N.T.P., "Application of Fuzzy TOPSIS and Harmonic Mitigation Measurement on Lean Six Sigma: A Case Study in Smart Factory,"IEEE Access, vol.11, no. , pp. 81577-81599,Jun.2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3299326.
- [9] Fatorachian H.; Pawar K., "Waste efficiency in cold supply chains through industry 4.0-enabled digitalisation,"International Journal of Sustainable Engineering, vol.18, no. 1, pp. -,Jan.2025, doi: 10.1080/19397038.2025.2461564.
- [10] Fattah S.; Azarhoushang B.; Kitzig-Frank H., "Knowledge-Based Adaptive Design of Experiments (KADoE) for Grinding Process Optimization Using an Expert System in the Context of Industry 4.0,"Journal of Manufacturing and Materials Processing, vol.9, no. 2, pp. -,Feb.2025, doi: 10.3390/jmmp9020062.
- [11] Gao H.; Qin X.; Barroso R.J.D.; Hussain W.; Xu Y.; Yin Y., "Collaborative Learning-Based Industrial IoT API Recommendation for Software-Defined Devices: The Implicit Knowledge Discovery Perspective,"IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, vol.6, no. 1, pp. 66-76,Ago.2022, doi: 10.1109/TETCI.2020.3023155.
- [12] Garcia-Garcia G.; Coulthard G.; Jagtap S.; Afy-Shararah M.; Patsavellas J.; Salonitis K., "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, pp. -,Nov.2021, doi: 10.3390/su132212341.
- [13] Gaudio M.T.; Coppola G.; Zangari L.; Curcio S.; Greco S.; Chakraborty S., "Artificial Intelligence-Based Optimization of Industrial Membrane Processes,"Earth Systems and Environment, vol.5, no. 2, pp. 385-398,Apr.2021, doi: 10.1007/s41748-021-00220-x.
- [14] Hegedüs-Kuti J.; Szölösi J.; Birosz M.T.; Csobán A.; Popa-Müller I.; Andó M., "Extending the Welding Seams Detection as Preparation Towards the Digital Twin Technology,"IET Collaborative Intelligent Manufacturing, vol.7, no. 1, pp. -,Mar.2025, doi: 10.1049/cim2.70027.
- [15] Huang M.; Zhou Q.; Wang J.; Li S., "Die casting die design and process optimization of aluminum alloy gearbox shell,"Materials, vol.14, no. 14, pp. -,Jul.2021, doi: 10.3390/ma14143999.
- [16] Ismail R.F.; Safieddine F.; Hammad R.; Kantakji M.H., "Towards Sustainable Production Processes Reengineering: Case Study at INCOM Egypt,"Sustainability (Switzerland), vol.14, no. 11, pp. -,May.2022, doi: 10.3390/su14116564.
- [17] Jagtap S.; Garcia-Garcia G.; Rahimifard S., "Optimisation of the resource efficiency of food manufacturing via the Internet of Things,"Computers in Industry, vol.127, no. , pp. -,May.2021, doi: 10.1016/j.compind.2021.103397.
- [18] Kumar A.; Kerr E.; McKnight W., "Smart Manufacturing in Timber Production †,"Engineering Proceedings, vol.65, no. 1, pp. -,Mar.2024, doi: 10.3390/engproc2024065005.
- [19] Lajevardi M.; Nikbakht M.; Boyer O.; Tavakkoli-Moghaddam R., "Designing a Model for Optimizing Operation of Production Processes in Industry 4.0,"International Journal of Engineering, Transactions B: Applications, vol.37, no. 10, pp. 2080-2090,Mar.2024, doi: 10.5829/ije.2024.37.10a.18.
- [20] Liu D.; Wang Y., "Metal Additive Manufacturing Process Design based on Physics Constrained Neural Networks and Multi-Objective Bayesian Optimization,"Manufacturing Letters, vol.33, no. , pp. 817-827,Dec.2022, doi: 10.1016/j.mfglet.2022.07.101.
- [21] Ly Duc M.; Hlavaty L.; Bilik P.; Martinek R., "Enhancing manufacturing excellence with Lean Six Sigma and zero defects based on Industry 4.0,"Advances in Production Engineering And Management, vol.18, no. 1, pp. 32-48,Apr.2023, doi: 10.14743/APEM2023.1.455.
- [22] Rigó L.; Fabianová J.; Lokšík M.; Mikúšová N., "Utilising Digital Twins to Bolster the Sustainability of Logistics Processes in Industry 4.0,"Sustainability (Switzerland) , vol.16, no. 6, pp. -,Mar.2024, doi: 10.3390/su16062575.
- [23] Schneider M.Y.; Quaghebeur W.; Borzooei S.; Froemelt A.; Li F.; Saagi R.; Wade M.J.; Zhu J.-J.; Torfs E., "Hybrid modelling of water resource recovery facilities: status and opportunities,"Water Science and Technology, vol.85, no. 9, pp. 2503-2524,Dec.2022, doi: 10.2166/wst.2022.115.
- [24] Schreiber D.; Froehlich C.; Feil A.A.; Becker V.J., "Industry 4.0 technologies in a brazilian furniture industry,"Revista de Administración de la UFSM Métrica, vol.17, no. , pp. -,Jun.2024, doi: 10.5902/1983465974934."
- [25] Stavropoulos P.; Papacharalampopoulos A.; Sabatakakis K., "Robust and Secure Quality Monitoring for Welding through Platform-as-a-Service: A Resistance and Submerged Arc Welding Study,"Machines, vol.11, no. 2, pp. -,Feb.2023, doi: 10.3390/machines11020298.
- [26] Tripathi V.; Chattopadhyaya S.; Mukhopadhyay A.K.; Sharma S.; Li C.; Singh S.; Saleem W.; Salah B.; Mohamed A., "Recent Progression Developments on Process Optimization Approach for Inherent Issues in Production Shop Floor Management for Industry 4.0,"Processes, vol.10, no. 8, pp. -,Ago.2022, doi: 10.3390/pr10081587.
- [27] Velázquez de la Hoz J.L.; Cheng K., "Investigation on the modeling and simulation of hydrodynamics in asymmetric conduction laser micro-welding of austenitic stainless steel and its process optimization,"Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol. , no. , pp. -,Feb.2024, doi: 10.1177/09544054241235839.
- [28] Yeardley A.S.; Ejeh J.O.; Allen L.; Brown S.F.; Cordiner J., "Integrating machine learning techniques into optimal maintenance scheduling,"Computers and Chemical Engineering, vol.166, no. , pp. -,Ago.2022, doi: 10.1016/j.compchemeng.2022.107958.
- [29] Yousef N.; Sata A.; Shukla M.; Jarbou S.; Mobarra D., "Blockchain-integrated IoT device for advanced inspection of casting defects,"Scientific Reports, vol.15, no. 1, pp. -,Feb.2025, doi: 10.1038/s41598-025-86777-3.
- [30] Zhao Y., "Optimization of Mechanical Manufacturing Processes Via Deep Reinforcement Learning-Based Scheduling Models,"Informatica (Slovenia), vol.49, no. 14, pp. 19-32,Sep.2025, doi: 10.31449/inf.v49i14.7204.