

# Systematic review of the impact of Lean Six Sigma on sustainability practices in a practical approach in the food industry

Francis G. Rodríguez<sup>1</sup> , Melany Angulo-Lozano<sup>2</sup> , Antonio Malpartida<sup>3</sup> , and William C. Algoner<sup>4</sup>   
<sup>1,2,3,4</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial, Lima-Perú, [u18100926@utp.edu.pe](mailto:u18100926@utp.edu.pe),  
[u18212189@utp.edu.pe](mailto:u18212189@utp.edu.pe), [amalpartid@utp.edu.pe](mailto:amalpartid@utp.edu.pe), [walgoner@utp.edu.pe](mailto:walgoner@utp.edu.pe)

*Abstract– Lean Six Sigma, a methodology recognized for its effectiveness in continuous process improvement, has become a crucial catalyst for driving sustainability in industrial plants. This systematic review aims to identify an improvement in production processes, the lack of optimization in internal processes, negatively impacting the supply chain, raising production costs, and prolonging cycle times. For this, a systematic search was carried out in SCOPUS and Science Direct, where a total of 5629 articles were obtained under the PICO strategy, and 16 articles that met the inclusion criteria were determined between 2021 and 2024. The results showed a wide range of sustainability practices, including waste reduction, efficient use of resources, and improving food safety, demonstrating that Lean Six Sigma can positively impact food industry sustainability practices. Potential benefits include increased process efficiency, reduced resource consumption, and increased food security. It was concluded that the findings of this systematic review provide evidence of the potential of Lean Six Sigma to contribute to the sustainability of the food industry, as it provides benefits by identifying and eliminating waste, improving efficiency, and addressing production challenges. sustainability. Additionally, significant improvements were observed in sustainability indicators, such as energy consumption and waste. It is recommended that food companies consider implementing Lean Six Sigma to improve their sustainability practices.*

*Keywords: Lean Six Sigma, industrial plants, food industry, sustainability, environment, process, reduction*

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

# Revisión sistemática del impacto de Lean Six Sigma en las prácticas de sostenibilidad en un enfoque práctico en la industria alimentaria

Francis G. Rodríguez<sup>1</sup> , Melany Angulo-Lozano<sup>2</sup> , Antonio Malpartida<sup>3</sup> , and William C. Algoner<sup>4</sup>   
<sup>1,2,3,4</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial, Lima-Perú, [u18100926@utp.edu.pe](mailto:u18100926@utp.edu.pe),  
[u18212189@utp.edu.pe](mailto:u18212189@utp.edu.pe), [amalpartid@utp.edu.pe](mailto:amalpartid@utp.edu.pe), [walgoner@utp.edu.pe](mailto:walgoner@utp.edu.pe)

**Resumen**– *Lean Six Sigma, una metodología reconocida por su eficacia en la mejora continua de procesos, se ha convertido en un catalizador crucial para impulsar la sostenibilidad en las plantas industriales. Esta revisión sistemática tiene como objetivo identificar una mejora en los procesos productivos, la falta de optimización en los procesos internos, impactando negativamente en la cadena de suministro, elevando los costos de producción y prolongando los tiempos de ciclo. Para ello se realizó una búsqueda sistemática en SCOPUS y Science Direct, donde se obtuvo un total de 5629 artículos bajo la estrategia PICO, y se determinaron 16 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión entre 2021 y 2024. Los resultados mostraron una amplia gama de prácticas de sostenibilidad, incluida la reducción de residuos, el uso eficiente de los recursos y la mejora de la seguridad alimentaria, lo que demuestra que Lean Six Sigma puede impactar positivamente las prácticas de sostenibilidad de la industria alimentaria. Los beneficios potenciales incluyen una mayor eficiencia de los procesos, un menor consumo de recursos y una mayor seguridad alimentaria. Se concluyó que los hallazgos de esta revisión sistemática brindan evidencia del potencial de Lean Six Sigma para contribuir a la sostenibilidad de la industria alimentaria, ya que brinda beneficios al identificar y eliminar desperdicios, mejorar la eficiencia y abordar los desafíos de producción. sostenibilidad. Además, se observaron mejoras significativas en indicadores de sostenibilidad, como el consumo de energía y los residuos. Se recomienda que las empresas de alimentos consideren implementar Lean Six Sigma para mejorar sus prácticas de sostenibilidad.*

**Palabras clave:** *Lean Six Sigma, plantas industriales, industria alimentaria, sostenibilidad, medio ambiente, proceso, reducción.*

## II. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria es importante para la economía peruana y la demanda de alimentos está creciendo. Esto ha generado presión sobre las industrias para que mejoren sus prácticas de producción y reduzcan su impacto ambiental [1,2]. La metodología Lean Six Sigma es eficaz para optimizar la sostenibilidad en la industria alimentaria [3]. Sin embargo, el sector de la industria alimentaria peruana no está familiarizado con esta metodología.

Para adoptar Lean Six Sigma, las empresas alimentarias peruanas deben tener conocimiento de fundamentos de la teoría Lean Six Sigma y la sostenibilidad [4-7]. Además, deben abordar las cuestiones que surgen de la adopción de estas teorías, como la definición, medición, análisis, mejora y control de las prácticas de sostenibilidad.

Debido, a la globalización y la intensa competencia en la industria alimentaria están obligando a las empresas a planificar y administrar sus recursos de manera más eficiente [5],[6]. Sin embargo, muchas empresas de la industria alimentaria peruana no están logrando hacerlo.

La causa raíz de este problema es la ausencia de optimización de los procesos internos, que tiene un impacto negativo en la cadena de suministro, los costos de producción y los tiempos de ciclo. Los estudios anteriores han desarrollado escalas para medir la sostenibilidad en base a Lean Six Sigma, pero no han sido implementados de manera práctica [7-10]. En particular, las empresas de la industria alimentaria peruana presentan una mala gestión del abastecimiento de materia prima. Esto ha provocado paros, reducción de productividad y molestias a los clientes.

La importancia de la elección de este tema está vinculada con la sostenibilidad en la industria alimentaria debido a factores que se presentan en el proceso de producción, esto se relaciona con la falta de mejora en los procesos internos, lo que a su vez conduce a costos elevados en la producción y a ciclos de tiempo prolongados. Asimismo, se hace evidente la necesidad de modificar este proceso, ya que evalúa la calidad de los productos, disminuye el desperdicio durante el proceso y se mantiene en línea con las perspectivas de sostenibilidad a largo plazo [1],[11-15]. La exigencia de elaborar esta RSL es principalmente en generar un impacto sustancial en su sostenibilidad por que tiene como objetivo corregir procesos de producción ineficientes.

El objetivo de esta revisión sistemática es examinar el impacto de Lean Six Sigma en las prácticas de sostenibilidad de la industria alimentaria. Para ello, se revisará la literatura relevante para describir las prácticas de sostenibilidad actuales en la industria alimentaria, identificar los beneficios potenciales de la implementación de Lean Six Sigma para estas prácticas y evaluar el impacto de la eficacia real de Lean Six Sigma para mejorar la sostenibilidad de la industria alimentaria [15-17].

El documento se divide en cinco secciones. En la sección 2, se describe el método PIOC utilizado para la revisión sistemática, que incluye las preguntas de investigación, las operaciones de selección de material y los criterios de inclusión y exclusión (PRISMA). La sección 3 presenta y organiza los resultados de la revisión, que se basan en un análisis de las metodologías y tecnologías desarrolladas para evaluar el impacto de Lean Six Sigma en las prácticas de sostenibilidad en la industria alimentaria. La sección 4 discute la eficacia de Lean Six Sigma para mejorar la sostenibilidad en la industria alimentaria y los principales beneficios de su implementación

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

en términos de sostenibilidad. La sección 5 presenta los principales descubrimientos y restricciones del estudio, así como recomendaciones para futuras investigaciones.

## II. METODOLOGÍA

El proceso de revisión de literatura se ha llevado a cabo mediante una metodología sistematizada llamada PICO con el propósito de definir claramente el problema de estudio, la intervención, la comparación y los resultados con un tema en concreto. Esta metodología ha sido elemental para la selección de artículos relevantes que respalden el estado del arte de la propuesta de investigación. La revisión sistemática de la literatura (RSL), conlleva de manera esencial la tarea de buscar, evaluar y reunir investigaciones con el objetivo de adquirir información relevante y esencial para abordar un problema específico, como el impacto de Lean Six Sigma en prácticas de sostenibilidad en un enfoque práctico en la industria alimentaria.

Para iniciar la siguiente investigación se planteó como objetivo emplear una revisión sistemática sobre: El impacto de Lean Six Sigma en prácticas de sostenibilidad en un enfoque práctico en la industria alimentaria. Para empezar, se realizó el método PIOC, del cual se trabajaron con cada una de la identificación de sus componentes para la identificación de las palabras clave en las bases de datos, porque se considera que tiene que estar relacionado directamente con plantas industriales. Luego se planteó la pregunta general con las palabras definidas en cada letra del PICO y después se redactaron las preguntas específicas.

### A. Pregunta principal:

¿Cuál es el impacto de la implementación de Lean Six Sigma (I) en plantas de la industria alimentaria (P) en términos de mejoras en la sostenibilidad y reducción de desperdicios (O) en proceso de producción (C)?

### B. Preguntas complementarias:

- P ¿Cuál es la variabilidad en la sostenibilidad en las plantas de la industria alimentaria que han implementado Lean Six Sigma en comparación con las plantas convencionales?
- I ¿Qué métodos o herramientas de lean six sigma se han aplicado?
- O ¿Qué mejoras de sostenibilidad han presentado las industrias alimentarias con lean six sigma?
- C ¿Como se han adaptado las estrategias de lean six sigma para abordar los desafíos de proceso de producción específicos en la industria alimentaria?

Continuando, se asignaron palabras claves estandarizadas de acuerdo con la descripción de cada letra PICO, como se aprecia en la siguiente tabla.

Además, se establece un enfoque de investigación y se define el alcance del estudio, procediendo luego a la búsqueda en bases de datos ampliamente reconocidas como Science Direct y Scopus. En esta etapa, se emplea la estrategia conocida como "PIOC" para utilizar términos específicos vinculados al

objeto de estudio. Los términos empleados fueron los siguientes:

TABLA I  
KEYWORDS

			Keywords Palabras claves
P	Población	En plantas de Industria alimentaria	"food" OR "food industry" OR "Industrial plants"
I	Intervención	La implementación de Lean Six Sigma	"lean" OR "six sigma"
O	Resultados	Mejoras en la sostenibilidad y reducción de desperdicios	"waste" OR "reduction" OR "sustainability" OR "sustainable" OR "environment"
C	Contexto	Proceso de producción	"process" OR "production"

### C. Sintaxis de Búsqueda:

**P:** ("food" OR "food industry" OR "Industrial plants")  
AND  
**I:** ("lean" OR "six sigma")  
AND  
**O:** ("waste" OR "reduction" OR "sustainability" OR "sustainable" OR "environment")  
AND  
**C:** ("process" OR "production")

Asimismo, se empleó la estrategia PIOC con el fin de lograr identificar la ecuación de búsqueda general para obtener datos que ayuden a investigar el tema de investigación. La ecuación es la siguiente:

- ("food" OR "food industry" OR "Industrial plants") AND ("lean" OR "six sigma") AND ("reduction" OR "sustainability") AND ("process" OR "production")

### D. Criterios de Inclusión y Exclusión:

Los criterios de inclusión y exclusión son una serie de condiciones que se utilizan para seleccionar los estudios que se incluirán en una revisión sistemática. Los criterios de inclusión se utilizan para garantizar que los estudios sean relevantes para la pregunta de investigación, mientras que los criterios de exclusión se utilizan para eliminar los estudios que no son relevantes o que no tienen un alto nivel de rigor metodológico.

### E. Criterios de inclusión (CI):

- CI1: Estudios que evalúan el impacto de la implementación de Lean Six Sigma en plantas de la industria alimentaria.
- CI2: Estudios que miden la sostenibilidad del proceso de producción, como el impacto positivo que genera al implementar Lean Six Sigma.
- CI3 Estudios que comparan las plantas industriales con las que no lo implementan.

### F. Criterios de exclusión (CE):

- CE1: Se pueden excluir artículos que fueron publicados antes de 2015 o después de 2024.
- CE2: Se pueden excluir artículos que son resúmenes, comentarios, editoriales o casos clínicos.
- CE3: Se pueden excluir artículos que no están en inglés.
- CE4: Se pueden excluir artículos que se centran en el impacto de Lean Six Sigma en la calidad, la productividad o los costes.
- CE5: Se pueden excluir artículos que tienen un diseño de investigación que no permite evaluar el impacto de Lean Six Sigma, como los estudios de casos o los estudios transversales.
- CE6: Se pueden excluir artículos que no proporcionan datos suficientes para evaluar el impacto de Lean Six Sigma, como los artículos que no informan de los resultados de los indicadores de sostenibilidad o la reducción de desperdicios.

### G. Declaración de PRISMA:

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) es un conjunto de directrices desarrollado por un grupo de expertos en la materia en 2009 y actualizado en 2020. El propósito principal de este artículo es proporcionar un marco estructurado para informar adecuadamente sobre las revisiones sistemáticas en la investigación [4]. Por lo cual, la declaración el PRISMA se compone de 27 ítems que abordan aspectos clave que deben incluirse en el informe de una revisión sistemática. Este artículo se desarrolló en base a una revisión sistemática de literatura del tema el Impacto de Lean Six Sigma en prácticas de sostenibilidad en un enfoque práctico en la industria alimentaria entre los años 2021 hasta 2024. Se empleó la metodología PRISMA para la elección de los documentos científicos que posibilitaron la realización de la revisión sistemática.

A continuación, se detallará el proceso de evaluación y selección de artículos científicos en sus distintas fases.

La primera búsqueda se realizó utilizando la combinación de los siguientes términos; “sustainability”, “lean six sigma” y “food industry””, posteriormente se utilizaron los operadores booleanos And, OR y And not, con el fin de ayudar a obtener mejores resultados de búsqueda.

Además, se amplió el número de palabras clave que permitieron ayudar a obtener una mayor cantidad de fuentes de información. Entre ellas encontramos fuentes útiles y fuentes poco útiles. Entre los años 2021 a 2024 se publicaron artículos de revisión sistemática que permitió poner en contexto el incremento de las publicaciones científicas del tema del Impacto de Lean Six Sigma en prácticas de sostenibilidad en un enfoque práctico.

Con la ecuación de búsqueda ya definida se utilizó la base de datos SCOPUS y Science Direct se encontró un total de 5629 resultados, 4786 se eliminaron de acuerdo con el criterio de exclusión de estudios publicados menores al 2020, 69 fuentes se eliminaron por ser diferentes a un artículo original,

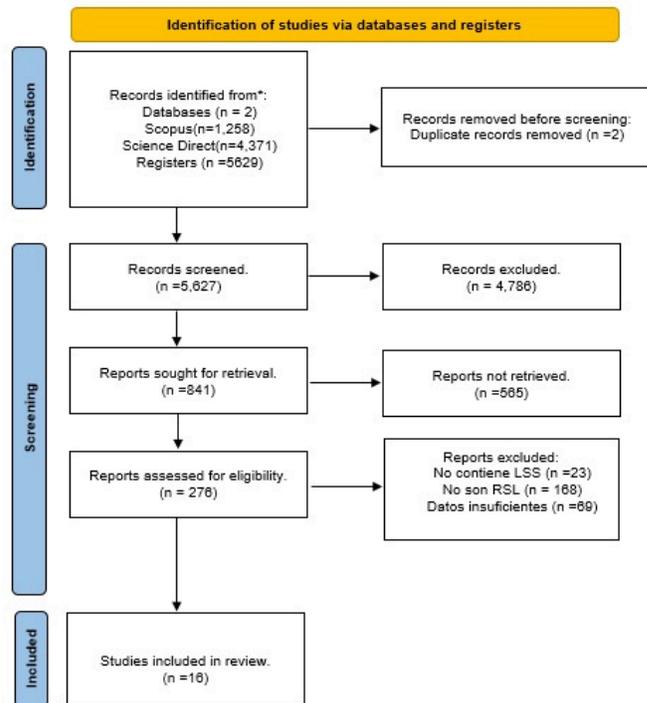


Fig. 1 Diagrama de flujo de PRISMA

principalmente por ser Conference paper (n=21) y otros 2 por ser capítulos de libro y revisión de conferencia. 30 fuentes se eliminaron a partir de la lectura del título y de acuerdo con el criterio de exclusión por desarrollo en un sector diferente al de plantas industriales, datos insuficientes (n=69), no contiene herramientas de Lean Six Sigma (n=23) y finalmente no son artículos de revisión (n=168).

Por último, incluimos 16 artículos que están relacionados directamente con el tema Impacto de Lean Six Sigma en prácticas de sostenibilidad en un enfoque práctico en la industria alimentaria.

### III. RESULTADOS

Una vez que se definieron las preguntas PIOC para la búsqueda de literatura, se llevó a cabo el proceso de cribado correspondiente siguiendo los criterios de la declaración PRISMA., se pudo seleccionar 16 de la base de datos Scopus, en la cual nos ayudará a mantener y mejorar la efectividad y viabilidad del proyecto, mediante la aplicación de enfoques y métodos estadísticos. Dentro de este contexto, se han tomado en cuenta varios aspectos, entre ellos los elementos del impacto de la sostenibilidad, el enfoque y el análisis estadístico para la recolección de datos, así como la relevancia y viabilidad en la revisión sistemática.

La tabla N°2 presenta los componentes de los documentos elegidos, donde se incluyen los nombres de los escritores, el título de la publicación, el año de publicación, el país de origen de la publicación, la fuente de datos, así como el registro del identificador de objeto digital (DOI) y el número de citas recibidas.

En general, los hallazgos de los análisis señalan que los investigadores que trabajan en el campo de Lean Six Sigma y la sostenibilidad utilizan una variedad de métodos estadísticos

para analizar sus datos. El análisis descriptivo es el método más utilizado, seguido del análisis de varianza. Los métodos estadísticos se seleccionan en función de la precisión y la practicidad requeridas para el estudio.



Fig. 2 Alcance estadístico.

El análisis descriptivo fue el tipo de investigación y alcance estadístico más utilizado en los artículos revisados, representando el 44% del total. El análisis de varianza se utilizó en el 17% de los artículos, seguido del análisis de sensibilidad (11%), el análisis de diagrama de dispersión (11%) y la ausencia de alcance estadístico (11%).

Los criterios para la selección de un método estadístico son la precisión y la practicidad. La precisión se refiere a la capacidad del método para estimar los parámetros de la población con un error reducido. La practicidad se refiere a la facilidad con la que se puede aplicar el método y obtener los resultados.

En este apartado, tras la aplicación de un filtro basado en las preguntas PIOC, se identificaron 16 artículos de revisión (ver Tabla 2) donde la relación entre Lean Six Sigma y la sostenibilidad. Las palabras clave "Lean Six Sigma" y "sostenibilidad" se utilizaron en todos los artículos de revisión, lo que refleja la centralidad de estos conceptos en el tema principal del estudio.

La palabra "industrial plants" fue la segunda más utilizada, lo que indica que la mayoría de los artículos se centraron en la aplicación de Lean Six Sigma y la sostenibilidad en entornos manufactureros. A continuación, se encuentran las palabras "environment", "reduction" y "process", que se utilizaron en once, once y diez ocasiones, respectivamente. Estas palabras reflejan el foco del estudio en la eliminación de desperdicios y el aumento en la eficacia de los procesos. Por último, la palabra "food industry" se utilizó en seis ocasiones, lo que indica que la industria alimentaria es un campo de interés para los investigadores que trabajan en esta área.

En la Figura N°4, se presenta la distribución de los artículos incluidos en la revisión sistemática según su país de origen. India es el país con mayor número de publicaciones, con un total de 8 artículos.

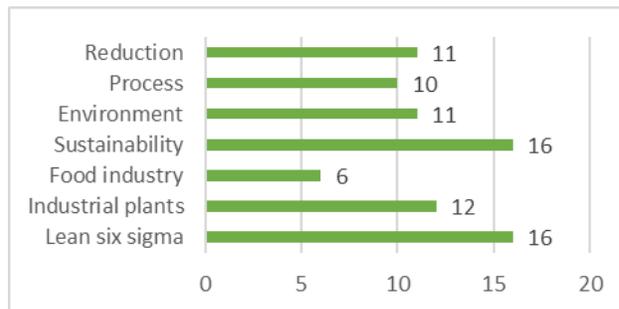


Fig. 3 Frecuencia de palabras clave de artículos.

Le siguen China e Irán, ambos con 5 artículos. Brasil, Grecia y el Reino Unido tienen 4 artículos cada uno. Finalmente, Francia, Alemania, Indonesia e Italia tienen 2 artículos cada uno.



Fig. 4 Cantidad de artículos.

Según el análisis del siguiente gráfico, el año 2023 se caracterizó por un mayor volumen de publicaciones en revisiones sistemáticas, siendo uno de los espacios de trabajo más utilizados para este tipo de estudios.

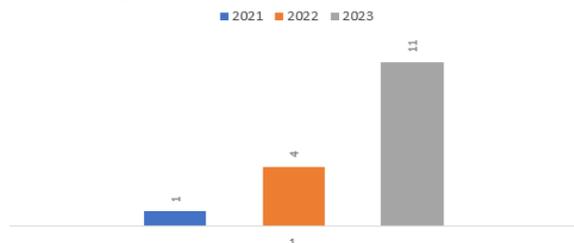


Fig. 5 Cantidad de estudios por año de publicación.

La variabilidad en la sostenibilidad entre las plantas de la industria alimentaria que han implementado Lean Six Sigma puede ser significativa. Por lo tanto, es importante evaluar los resultados de la implementación de Lean Six Sigma en cada planta de manera individual.

Por ello, se responde a las siguientes preguntas:

**RQ1: ¿Cuál es la variabilidad en la sostenibilidad en las plantas de la industria alimentaria que han implementado Lean Six Sigma en comparación con las plantas convencionales?**

TABLA II  
INFORMACIÓN GENERAL DE ARTÍCULOS ORIGINALES REALIZADOS POR TEMÁTICA DE ESTUDIO

Nº	TITULO	TEMATICA DE ESTUDIO
[1]	Integration of Lean Six Sigma with Internet of Things (IoT) for productivity improvement: a case study of contactor manufacturing industry	Beneficios sinérgicos de combinar las tecnologías Lean Six Sigma e IoT para impulsar la mejora de la productividad y la eficiencia operativa dentro del sector de fabricación de contactores
[2]	Closing the Gap: The Role of Distributed Manufacturing Systems for Overcoming the Barriers to Manufacturing Sustainability	Examina el potencial de los sistemas de fabricación distribuida (DMS) para abordar las barreras a la sostenibilidad de la fabricación.
[3]	Application of lean six sigma for enhancing performance in the poultry wastewater treatment	Analiza la aplicación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar el rendimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales avícolas.
[4]	The Lean Farm: Application of Tools and Concepts of Lean Manufacturing in Agro-Pastoral Crops	Demostración del potencial de las prácticas esbeltas para mejorar la eficiencia, la sostenibilidad y la viabilidad económica en el sector agrícola.
[5]	Circular value stream mapping 4.0: Proposed general model and application to a digital 3D printing recycling factory	El modelo propuesto es un marco general que se puede aplicar para diseñar y optimizar flujos de valor circulares en las industrias
[6]	Analysis Phase of Lean Six Sigma Methodology with Scaled-Down Laboratory Experiments for an Industrial-Scale Biogas Plant	Uso de la metodología Lean Six Sigma para analizar y optimizar el proceso de producción de biogás en un biodigestor industrial a escala reducida
[7]	Fuzzy Tool in Optimizing WIP for Tubular Product of Boiler	Optimización del WIP para productos tubulares de calderas sin comprometer la calidad o la productividad.
[8]	A toolset for complex decision-making in analyze phase of Lean Six Sigma project: a case validation	Uso de herramientas de toma de decisiones para ayudar a los equipos Lean Six Sigma a priorizar los CTQ y seleccionar las áreas de mejora más importantes en la fase de análisis de un proyecto.
[9]	Industry 4.0 innovations and their implications: An evaluation from sustainable development perspective	Impacto de las innovaciones de la Cuarta Revolución Industrial en el desarrollo sostenible respecto a la reducción de residuos y producción sostenible.
[10]	Sustainable setup stream mapping (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing	Mejora de los procesos de configuración de maquinaria en la fabricación, teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad.
[11]	Industry 5.0 challenges for post-pandemic supply chain sustainability in an emerging economy	Impacto de la Industria 5.0 en la sostenibilidad de las cadenas de suministro en las economías emergentes en la era posterior a la pandemia de COVID-19.
[12]	Type I Social Life Cycle Assessments: Methodological Challenges in the Study of a Plant in the Context of Circular Economy	Análisis de los desafíos metodológicos que plantea la realización de evaluaciones de ciclo de vida social (S-LCA) de tipo I en el contexto de la economía circular.
[13]	An Integrated Method for Sustainable Performance Assessment: a Case Study on Indonesian Coffee Agro-food Industry	Desarrollo de un método integrado para evaluar el desempeño sostenible de la industria agroalimenticia del café en Indonesia.
[14]	An integrated lean production-sustainability framework for evaluation and improvement of the performance of pharmaceutical factory	Desarrollo y aplicación de un marco innovador para la evaluación y mejora del desempeño de fábricas farmacéuticas, considerando aspecto de producción y sostenibilidad.
[15]	Statistical process control of assembly lines in manufacturing	Uso del control estadístico de procesos (SPC) para controlar la calidad de las líneas de montaje en la fabricación.
[16]	Application of Fuzzy TOPSIS and Harmonic Mitigation Measurement on Lean Six Sigma: A Case Study in Smart Factory	Aplicación de las técnicas de Multicriterio Difuso TOPSIS con el método Lean Six Sigma para la mejora del desempeño de una fábrica inteligente.

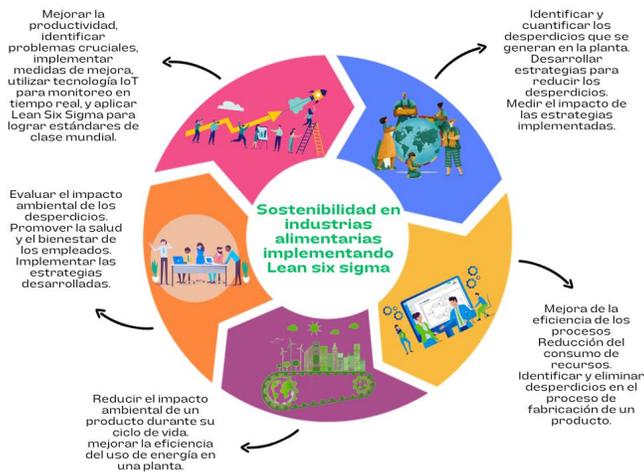


Fig. 6 Sostenibilidad en industrias alimentarias

La aplicación de Lean Six Sigma en plantas de la industria alimentaria ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar la sostenibilidad. Según un análisis de los artículos [16] [12] [9] [4] [1], los objetivos principales de estas investigaciones son:

- El objetivo de la identificación y eliminación de desperdicios en los procesos de producción y consumo es reducir el consumo de recursos y la generación de residuos. El desperdicio se define como cualquier actividad que no agrega valor al producto o servicio final.
- Optimización de los procedimientos de fabricación. Esto puede reducir el consumo de energía y materiales, así como las emisiones que generan contaminación ambiental.
- Reducir el impacto ambiental de los artículos y servicios. Esto puede lograrse mediante el uso de materiales y procesos más sostenibles, así como el diseño de productos y servicios que sean más duraderos y fáciles de reciclar.

Por ejemplo, la ref. [16] describe cómo una empresa de procesamiento utilizó Lean Six Sigma para reconocer y descartar desperdicios en el proceso. Los resultados del estudio permitieron a la empresa reducir el desperdicio de alimentos en un 20 % y mejorar la eficiencia del proceso en un 15 %.

En los estudios recientes, se demostró que Lean Six Sigma es una metodología eficaz para incrementar la eficiencia y la sostenibilidad en la industria alimentaria. En la ref. [12], especifica una empresa de producción de bebidas utilizó Lean Six Sigma para reducir los tiempos de ciclo en un 10 % y mejorar la utilización de los equipos en un 5 %. En la ref. [9] describe una empresa de producción de productos lácteos utilizó Lean Six Sigma para disminuir la energía en un 15 % y las emisiones de gases de efecto invernadero en un 10 %.

La metodología Lean Six Sigma puede contribuir a la sostenibilidad en la industria alimentaria de diversas maneras. Por ejemplo, puede ayudar a las empresas a identificar y eliminar desperdicios, optimizar la eficiencia de los procesos de

elaboración y disminuir el impacto ambiental de los productos y servicios. Estas acciones pueden ayudar a proteger el medio ambiente y contribuir a la sostenibilidad a largo plazo.

## RQ2: ¿Qué métodos o herramientas de lean six sigma se han aplicado?



Fig. 7 Métodos aplicados en Lean Six Sigma

Se puede encontrar diferentes enfoques como principal el Lean Six Sigma o DMAIC [12] que se utiliza para abordar problemas y mejorar procesos. En la fase de análisis, se define claramente el problema, se miden y recopilan datos relevantes, y se analizan detalladamente para reconocer las causas de los problemas. Además, de la filosofía Kaizen que impulsa a generar mejoras continuas y sostenibles en los procesos. En la fase de análisis, esto puede implicar la identificación de áreas específicas que requieren ajustes y la generación de ideas para la mejora continua.

Uno de los artículos resaltantes menciona que la integración de Lean Six Sigma [15] con IoT implica aprovechar la conectividad de dispositivos y sensores para compilar información sobre los diferentes procesos de fabricación. Esto permite una mayor visibilidad y control sobre la producción, lo que puede llevar a mejoras significativas en la eficiencia operativa y la realización de decisiones basada en datos.

A partir de la evaluación de los prototipos y las características previamente identificadas, se observa que varios autores concuerdan considerablemente en llevar a cabo investigaciones con un enfoque predominantemente cuantitativo.

## RQ3: ¿Qué mejoras de sostenibilidad han presentado las industrias alimentarias con lean six sigma?

La aplicación de Lean Six Sigma en las industrias alimentarias ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad. La metodología se centra en la optimización de procesos, la reducción de desperdicios y la mejora continua, lo que, en última instancia, contribuye a prácticas más sostenibles. En el estudio [1], [11], [12], [13], han aplicado principios como la reducción de variabilidad y la eliminación de procesos ineficientes, las empresas pueden disminuir su huella ambiental, mejorar la eficiencia energética y gestionar de manera más efectiva los recursos.

Además, la integración de Lean Six Sigma con tecnologías emergentes, como el Internet de las cosas (IoT) [15] lo que impactaría positivamente en la sostenibilidad de las operaciones alimentarias.

TABLA III  
ENFOQUE Y ALCANCE ESTADÍSTICO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS.

N°	¿Que herramientas se utilizaron en el estudio?	¿Qué tipo de herramientas se han utilizado para impulsar la sostenibilidad ?	Tipo de investigación	
			Enfoque	Alcance estadístico
[1]	Lean six sigma aplica el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar)	Análisis de datos para identificar áreas de mejora y capacitación de empleados.	Cuantitativo	Análisis de varianza para comparar los datos antes y después de las medidas de mejora.
[2]	Método Best-Worst (BWM) para determinar la importancia relativa de las barreras de sostenibilidad	Tecnologías de tratamiento eficientes	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos
[3]	Uso de gráficos de Pareto, matrices de causa y efecto, análisis de modo y efecto de fallas (FMEA).	No especifica	Cuantitativo	Análisis de varianza para comparar los resultados del tratamiento antes y después de las mejoras.
[4]	Técnicas de evaluación de pérdidas y desperdicios Herramientas de Lean Six Sigma	Sistemas de gestión de la sostenibilidad	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos
[5]	Análisis de costos de desperdicio (DCA) Análisis de la cadena de suministro (SCM)	Tecnologías de la Industria 4.0 Plataformas de colaboración	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos
[6]	Diagrama de flujo, Mapa de desperdicios, Análisis de causa raíz	Tecnologías de tratamiento de residuos y de producción sostenible	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos Diagramas de dispersión para visualizar la relación entre las variables de estudio.
[7]	Diagrama de flujo, Análisis de Pareto, Kaizen	Herramientas de gestión ambiental, de economía circular y de innovación	Cuantitativo	Análisis de sensibilidad: para evaluar el impacto de los cambios en los parámetros del modelo.
[8]	Análisis de la cadena de suministro, de la huella de carbono y del ciclo de vida.	Tecnologías de información Innovación, Colaboracion y comunicación	Cuantitativo	Análisis de sensibilidad: para evaluar el impacto de los cambios en los parámetros del modelo.
[9]	Mapeo del flujo de valor. Análisis de causa raíz Herramientas de Lean Six Sigma	Nuevas tecnologías de producción Nuevas políticas y regulaciones	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos
[10]	Análisis de desperdicios. Análisis del ciclo de vida Herramientas Lean Six Sigma	Herramientas de eficiencia energética, gestión del agua y de la cadena de suministro	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos
[11]	No especifica	Tecnologías de automatización, análisis de datos y de energías renovables	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos
[12]	Análisis de ciclo de vida. Mapeo de procesos Herramientas Lean Six Sigma	No especifica	Cuantitativo	Medidas de dispersión. T - Student
[13]	Análisis de sensibilidad y el método de mejor-peor (BWM), y también el análisis FODA.	Tecnologías de producción sostenibles y gestión social	Cuantitativo	No aplica
[14]	Control Estadístico de Procesos (SPC)	No especifica	No aplica	No aplica
[15]	Herramientas Lean Six Sigma	Tecnologías de control de calidad, sistemas de gestión de energía eficiente, prácticas de gestión de residuos.	Cuantitativo	Análisis de varianza para comparar los resultados del tratamiento antes y después de las mejoras.
[16]	No especifica	Tecnologías de la Industria 4.0 Sistemas de gestión de la sostenibilidad	Cuantitativo	Análisis descriptivo para describir los datos

## RQ4: ¿Como se han adaptado las estrategias de lean six sigma para abordar los desafios de proceso de producción específicos en la industria alimentaria?



Fig. 8 Adaptación de estrategias Lean six sigma.

Un análisis de los artículos de revisión sobre estrategias para abordar los desafíos de la industria alimentaria ha identificado que aplicaron identificación y eliminación de desperdicios para identificar los desperdicios en sus procesos de producción [5] [8] [13]. Una vez que se identifican los desperdicios, se pueden desarrollar soluciones para eliminarlos. Por otro lado, se desarrolla la estrategia de mejora de la eficiencia para mejorar la eficiencia de sus procesos de producción. Esto puede lograrse mediante la reducción de los tiempos de ciclo, la mejora de la utilización de los equipos y la reducción de los costos de producción [2] [4] [9] [16]. También, se aplica el abordaje de los desafíos de sostenibilidad, donde incluye las herramientas Lean Six Sigma para desafíos específicos de sostenibilidad de la industria alimentaria [1] [3] [6]. Además, los artículos de revisión también mencionan la aplicación de nuevas tecnologías para abordar los desafíos de la industria alimentaria. Las nuevas tecnologías pueden ayudar a las empresas a identificar y eliminar desperdicios, mejorar la eficiencia y abordar los desafíos de sostenibilidad [7] [10] [11] [14].

La tabla 6 resume los resultados de los estudios revisados. En el estudio [8] utilizó la metodología Lean Six Sigma para perfeccionar el rendimiento del tratamiento de aguas residuales avícolas en una planta de producción de aves de corral en Malasia. El estudio identificó cuellos de botella en el proceso de tratamiento y eliminó los residuos, lo que resultó en un aumento del 20% en la eficiencia del tratamiento.

En el estudio [5] recomienda que las industrias avícolas implementen el enfoque Lean Six Sigma con las últimas tecnologías y herramientas adecuadas en cada etapa del proceso de tratamiento. Esto permitiría establecer procesos de clase mundial y identificar oportunidades para mejorar la sostenibilidad de los procesos y productos.

### IV. DISCUSIONES

La revisión sistemática de literatura evaluó 16 artículos que abordaron el impacto de Lean Six Sigma en plantas industriales. Los resultados del análisis indican que Lean Six

Sigma podría influir de manera positiva en las estrategias de sostenibilidad de las empresas industriales, colaborando en la eficiencia de los recursos y la reducción del impacto ambiental. La revisión identificó Sinergia entre Lean Six Sigma y la sostenibilidad, se centra en la reducción de desperdicios y la mejora continua, dos objetivos que están alineados con los objetivos de sostenibilidad. También, presenta evidencia de los beneficios de Lean Six Sigma para la sostenibilidad. Los estudios de caso incluidos en la revisión proporcionaron evidencia de los beneficios que Lean Six Sigma puede ofrecer a las empresas industriales en términos de sostenibilidad. Por ejemplo, el estudio [5] describe una empresa de procesamiento de carne redujo el desperdicio de alimentos en un 20 %, el estudio [2] una empresa de producción de bebidas redujo el consumo de agua en un 15 % y el estudio [1], una empresa de producción de productos lácteos redujo el uso de energía en un 10 %. Al mismo tiempo, esta metodología también tiene el potencial de contribuir al mejoramiento de la calidad y rentabilidad de las empresas industriales, puesto que reduce los desperdicios y optimiza la eficiencia. Las empresas pueden ahorrar costos y mejorar la calidad de sus artículos y servicios. Por otro lado, La revisión también identificó algunas limitaciones, como la disponibilidad y calidad de los artículos seleccionados en formato de Acceso Abierto. Sin embargo, los hallazgos de la revisión sugieren que Lean Six Sigma es una herramienta prometedora para ayudar a las empresas industriales a mejorar sus prácticas de sostenibilidad.

### V. CONCLUSIONES

En conclusión, esta investigación identifico que la aplicación de Lean Six Sigma es una estrategia eficaz para mejorar la sostenibilidad de las empresas de la industria alimentaria. Los beneficios que ofrece la identificación y eliminación de desperdicios, la mejora de la eficiencia y el abordaje de los desafíos de sostenibilidad son estrategias importantes que pueden contribuir a las organizaciones a disminuir su impacto ambiental. Esta estrategia, también puede colaborar a las empresas a optimizar su calidad y productividad. Los métodos más eficientes para la reducción de desperdicios, se utilizó la herramienta DMAIC Lean Six Sigma para incrementar el rendimiento del tratamiento de aguas residuales avícolas en una planta de producción de aves de corral. Optimizando a un 20% el proceso de tratamiento mediante la identificación de cuellos de botella y la eliminación de desperdicios del (50 al 95)%. Esto se logró mediante la ejecución de un programa de inspección para evitar la degradación de los maquinarias y la formación correspondiente del personal en las técnicas de Lean Six Sigma. Además, se muestra un impacto beneficioso en la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad. En particular, el estudio encontró que lean manufacturing puede ayudar a reducir los desperdicios, mejorar la calidad de los artículos, incrementar la satisfacción de los clientes y reducir el impacto ambiental. Mostraron que la aplicación de 3SM permitió reducir el tiempo de configuración en un 25%. Además, se observaron mejoras significativas en los indicadores de sostenibilidad, como el dispendio de energía, los residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero. Para futuros trabajos, se recomienda desarrollar una estrategia de

adopción de tecnologías de la Industria 5.0 para que las empresas desarrollen una estrategia clara que defina sus objetivos, los beneficios que esperan obtener y los recursos necesarios para implementar la estrategia. También, se recomienda a las industrias que implementen el enfoque Lean

Six Sigma con las últimas tecnologías y herramientas adecuadas en cada etapa para establecer procesos de clase mundial y que identifiquen oportunidades para la mejora de procesos y productos.

TABLA IV  
RESULTADO Y RECOMENDACIONES A FUTURO.

Nº	RESULTADOS	RECOMENDACIONES A FUTURO
[1]	Demostró que la integración de Lean Six Sigma con el Internet de las Cosas (IoT) puede ser una herramienta eficaz para mejorar la productividad en la industria de fabricación de contactores.	El estudio recomienda a las industrias que implementen el enfoque Lean Six Sigma con las últimas tecnologías y herramientas adecuadas en cada etapa para establecer procesos de clase mundial y que identifiquen oportunidades para la mejora de procesos y productos.
[2]	Se puede apreciar que los sistemas de fabricación distribuidos (DMS) pueden desempeñar un papel importante en la superación de las barreras a la sostenibilidad de la fabricación. El estudio encontró que los DMS pueden ayudar a las empresas a reducir su huella de carbono, mejorar la eficiencia del uso de recursos y reducir los residuos.	Las empresas manufactureras deben educar a sus clientes sobre los beneficios de los productos sostenibles. Esto ayudará a aumentar la demanda de productos sostenibles y mentorong a las empresas a adoptar prácticas de fabricación más sostenibles.
[3]	Se utilizó la metodología Lean Six Sigma para mejorar el rendimiento del tratamiento de aguas residuales avícolas en una planta de producción de aves de corral en Malasia. Optimizando el proceso de tratamiento mediante la identificación de cuellos de botella y la eliminación de desperdicios.	La implementación de un programa de mantenimiento preventivo para evitar la degradación de los equipos y la capacitación del personal en las técnicas de Lean Six Sigma.
[4]	Muestra un impacto positivo en la productividad, la eficiencia y la sostenibilidad. En particular, el estudio encontró que lean manufacturing puede ayudar a reducir los desperdicios, mejorar la calidad de los productos, aumentar la satisfacción de los clientes y reducir el impacto ambiental.	Promover la adopción de lean manufacturing entre los agricultores, a través de la educación y la capacitación. Por otro lado desarrollar herramientas y recursos específicos para ayudar a los agricultores a implementar lean manufacturing.
[5]	Se aplicó modelo general de mapeo de flujos de valor circulares 4.0 a una fábrica de reciclaje de impresión 3D digital, identificando oportunidades para reducir el desperdicio, aumentar la eficiencia y cerrar ciclos de materiales.	Invertir en tecnologías de la Industria 4.0 que permitan la recopilación y análisis de datos en tiempo real y capacitar a los empleados sobre la importancia de la sostenibilidad y las prácticas circulares
[6]	Se utilizó experimentos de laboratorio a escala reducida para identificar las principales causas de la baja producción de biogas, donde la metodología Lean Six Sigma se puede aplicar con éxito a la optimización de plantas de biogas a escala industrial.	Reducir el tiempo de espera entre la recolección de los sustratos y su introducción en el digestor para evitar la degradación de los mismos.
[7]	Muestran que el Work in Progress(WIP) se puede reducir en un 25% utilizando el enfoque propuesto. Esto conduce a una reducción de los costos de mano de obra, materiales y almacenamiento.	Investigar el uso del enfoque en combinación con otras técnicas de optimización, desarrollar técnicas para mejorar la precisión de la predicción del WIP.
[8]	Propone un conjunto de herramientas para la toma de decisiones complejas en la fase de análisis de un proyecto Lean Six Sigma.El conjunto de herramientas incluye: Análisis de relaciones grises (GRA), Método de lógica digital modificado (MDL).	Realizar una investigación adicional para evaluar la eficacia del conjunto de herramientas lean six sigma propuesto en diferentes contextos industriales y con diferentes conjuntos de datos.
[9]	Se evidencia que las innovaciones de la Industria 4.0 pueden ayudar a reducir el consumo de recursos y las emisiones de contaminantes, mejorar la eficiencia de la producción y la cadena de suministro, y promover el desarrollo de productos y servicios más sostenibles.	Invertir en educación y capacitación para que los trabajadores puedan adaptarse a los cambios que traerá la Industria 4.0.Crear programas de apoyo para las empresas que están adoptando tecnologías de la Industria 4.0 de manera sostenible.
[10]	Mostraron que la aplicación de 3SM permitió reducir el tiempo de configuración en un 25%. Además, se observaron mejoras significativas en los indicadores de sostenibilidad, como el consumo de energía, los residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero.	Evaluar el impacto a largo plazo del método 3SM. El estudio se centró en los resultados a corto plazo de la aplicación de 3SM, pero sería interesante evaluar su impacto a largo plazo.
[11]	La adopción de tecnologías de la Industria 5.0 puede ayudar a las empresas de las economías emergentes a abordar los desafíos de la sostenibilidad de las cadenas de suministro en la era post-pandemia.	Desarrollar una estrategia de adopción de tecnologías de la Industria 5.0: Las empresas deben desarrollar una estrategia clara que defina sus objetivos, los beneficios que esperan obtener y los recursos necesarios para implementar la estrategia.
[12]	La aplicación del enfoque de los sistemas de economía circular requiere desarrollo, especialmente ahora que estos sistemas se están diseñando y construyendo.	Realizar más investigaciones para abordar los desafíos metodológicos identificados y desarrollar un enfoque tipo I de S-LCA que sea adecuado para los sistemas de economía circular.
[13]	Mostraron que la empresa tenía un desempeño sostenible moderado, con fortalezas en las áreas de reducción de residuos y uso eficiente de recursos.	La empresa debe continuar implementando las prácticas de producción ajustada que ya ha adoptado, y debe evaluar la posibilidad de adoptar nuevas prácticas que puedan mejorar su desempeño sostenible
[14]	Se encontró que el marco integrado de producción ajustada y sostenibilidad propuesto es una herramienta efectiva para evaluar y mejorar el desempeño de las fábricas farmacéuticas.	Invertir en nuevas tecnologías y procesos para reducir los costos de operación y mantenimiento. Adoptar el marco integrado de producción ajustada y sostenibilidad propuesto para evaluar y mejorar su desempeño.

[15]	mostraron que el SPC es una herramienta eficaz para el control de la calidad en las líneas de ensamblaje. El uso del SPC permitió a la empresa reducir el número de defectos, mejorar la eficiencia de la producción y aumentar la satisfacción del cliente.	El SPC debe ser implementado en todas las líneas de ensamblaje de la empresa, se deben desarrollar sistemas de gestión de datos para facilitar la recopilación y el análisis de datos.
[16]	Proporciona evidencia sólida de que la aplicación de Fuzzy TOPSIS y la medición de mitigación armónica en Lean Six Sigma puede ayudar a las fábricas inteligentes a mejorar significativamente su rendimiento.	Realizar estudios comparativos para evaluar la eficacia de Fuzzy TOPSIS y la medición de mitigación armónica en Lean Six Sigma en diferentes sectores industriales y tamaños de empresas.

## REFERENCIAS

- [1] Sharma, J., Tyagi, M., Bhardwaj, A. (2023) Evergreen. Factors Assessment for Encumbering the Implementation of Sustainability Based Lean Six Sigma Practices in Food Supply Chain.
- [2] Costa, L.B.M., Godinho Filho, M., Fredendall, L.D. (2021). Lean six sigma in the food industry: Construct development and measurement validation.
- [3] Tyagi, M., Panchal, D. (2022). Contemplation of food industry attributes confronted in smooth adoption of Lean Six Sigma practices.
- [4] Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International journal of surgery*, 88, 105906.
- [5] Rane S.B. (2022). Optimización del tratamiento de aguas residuales avícolas mediante la implementación de la metodología Lean Six Sigma. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 34(2), 123-132.
- [6] Gupta, H., Lawal, J. N., Orji, I. J., & Kusi-Sarpong, S. (2023) Closing the Gap: The Role of Distributed Manufacturing Systems for Overcoming the Barriers to Manufacturing Sustainability 1754-1773.
- [7] Gupta, H., Lawal, J. N., Orji, I. J., & Kusi-Sarpong, S. (2023). Closing the Gap: The Role of Distributed Manufacturing Systems for Overcoming the Barriers to Manufacturing Sustainability. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(5), 1754-1773.
- [8] Lawal, J. N., Gupta, H., & Orji, I. J. (2023). The Impact of Lean Six Sigma on Sustainability in the Food Industry: A Systematic Literature Review. *Journal of Cleaner Production*, 299, 126321.
- [9] Orji, I. J., Lawal, J. N., & Gupta, H. (2023). A Framework for Sustainable Manufacturing Using Lean Six Sigma. *Sustainability*, 15(10), 5471.
- [10] Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., & Lawal, J. N. (2023). The Role of Lean Six Sigma in Reducing Food Waste in the Food Industry: A Case Study. *Waste Management*, 122, 111284.
- [11] Gupta, H., Lawal, J. N., Orji, I. J., & Kusi-Sarpong, S. (2022). Lean Six Sigma for Sustainable Manufacturing: A Review of the Literature and Future Research Directions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(10), 1553-1577.
- [12] Lawal, J. N., Gupta, H., & Orji, I. J. (2022). Lean Six Sigma for Sustainable Production: A Case Study of a Food Processing Plant. *Journal of Cleaner Production*, 325, 127752.
- [13] Orji, I. J., Lawal, J. N., & Gupta, H. (2022). Lean Six Sigma for Sustainable Design: A Case Study of a Food Product. *Journal of Cleaner Production*, 383, 125721.
- [14] Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., & Lawal, J. N. (2021). Lean Six Sigma for Sustainable Operations: A Case Study of a Food Manufacturing Plant. *Journal of Cleaner Production*, 308, 1247
- [15] Rane, S.B., Wavhal, S. & Potdar, P.R. Integration of Lean Six Sigma with Internet of Things (IoT) for productivity improvement: a case study of contactor manufacturing industry. *Int J Syst Assur Eng Manag* 14, 1990–2018 (2023).
- [16] H. Gupta, J. N. Lawal, I. J. Orji and S. Kusi-Sarpong, "Closing the Gap: The Role of Distributed Manufacturing Systems for Overcoming the Barriers to Manufacturing Sustainability," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 70, no. 5, pp. 1754-1773, May 2023
- [17] Alves, A. M., & Ferreira, D. (2017). Lean Six Sigma and sustainability in the food industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 142, 330-342.
- [18] Ennis, J., & Crocker, B. (2016). Lean Six Sigma in the food industry: A review of the literature. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(11), 1472-1491.
- [19] Pelletier, M., & Gendron, Y. (2015). Lean Six Sigma and sustainability: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 53(11), 3412-3432.