

Sustainable Innovation Strategies in Industrial Production Processes: A Systematic Literature Review

Marga Zorayda Navarro Casafranca¹; Jumira Mayerly Santos Ruiz²

^{1,2} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, casafraancamarga@gmail.com, jumirasr@hotmail.com

Abstract—This systematic review of the literature arises from the need to promote industrial practices that integrate innovation and sustainability into production processes, key elements for addressing environmental challenges and improving operational efficiency. The objective of this review is to identify and analyze the most commonly used strategies for incorporating sustainable innovation into industrial processes, evaluating their impact on environmental performance, production efficiency, and business competitiveness. A qualitative and descriptive methodology was applied following the PRISMA model, based on 1,234 records obtained from the SCOPUS database up to July 2025, of which 26 studies met the inclusion criteria. During the analysis, key strategies were identified, such as the circular economy, intelligent automation, process redesign, implementation of clean technologies, advanced manufacturing, and industrial digitization. These strategies were applied in various productive sectors such as the food, automotive, textile, energy, and construction industries. It was evident that their application improved process performance, reduced resource consumption, and minimized environmental impact, in addition to promoting compliance with international standards and the Sustainable Development Goals (SDGs). Finally, the results confirm that the correct implementation of sustainable innovation strategies not only optimizes industrial processes but also strengthens organizational competitiveness, provided that favorable conditions exist, such as institutional leadership, investment in technology, an innovative organizational culture, and adequate regulatory frameworks.

Keywords- Sustainable Innovation, Industrial Production Processes, Operational Efficiency, Circular Economy, Industrial Digitization.

Estrategias de Innovación Sostenible en Procesos Productivos Industriales: Una Revisión Sistemática de Literatura

Marga Zorayda Navarro Casafranca¹; Jumira Mayerly Santos Ruiz²

^{1,2} Universidad Tecnológica del Perú, Perú, casafrancamarga@gmail.com, jumirasr@hotmail.com

Resumen— Esta revisión sistemática de la literatura surge de la necesidad de impulsar prácticas industriales que integren la innovación y la sostenibilidad en los procesos productivos, elementos clave para enfrentar los retos ambientales y mejorar la eficiencia operativa. El objetivo de esta revisión es identificar y analizar las estrategias más utilizadas para incorporar la innovación sostenible en procesos industriales, evaluando su impacto en el desempeño ambiental, la eficiencia productiva y la competitividad empresarial. Se aplicó una metodología cualitativa y descriptiva siguiendo el modelo PRISMA, partiendo de 1,234 registros obtenidos en la base de datos SCOPUS, hasta julio 2025, de los cuales 26 estudios cumplieron criterios de inclusión. Durante el análisis, se identificaron estrategias clave como la economía circular, la automatización inteligente, el rediseño de procesos, la implementación de tecnologías limpias, la manufactura avanzada y la digitalización industrial. Estas estrategias fueron aplicadas en diversos sectores productivos como la industria alimentaria, automotriz, textil, energética y construcción. Se evidenció que su aplicación permitió mejorar el rendimiento de los procesos, reducir el consumo de recursos y minimizar el impacto ambiental, además de promover el cumplimiento de estándares internacionales y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Finalmente, los resultados confirman que una correcta implementación de estrategias de innovación sostenible no solo optimiza los procesos industriales, sino que también refuerza la competitividad organizacional, siempre que existan condiciones propicias como liderazgo institucional, inversión en tecnología, cultura organizacional innovadora y marcos normativos adecuados.

Palabras clave— Innovación Sostenible, Procesos Productivos Industriales, Eficiencia Operativa, Economía Circular, Digitalización Industrial.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la sostenibilidad ha cobrado una importancia creciente en el ámbito industrial, impulsada por la necesidad de reducir el impacto ambiental de los procesos productivos y promover modelos de desarrollo más responsables [1]. El crecimiento económico tradicional, centrado en la maximización de la producción y el consumo de recursos, ha generado múltiples desafíos ambientales, como el aumento de emisiones, el agotamiento de materias primas y la generación de residuos industriales, lo que ha motivado la búsqueda de estrategias que integren la eficiencia económica con la responsabilidad ecológica [2]. En este marco, la innovación sostenible se presenta como una respuesta estratégica que permite rediseñar procesos, productos y modelos de negocio bajo criterios de eficiencia energética, circularidad y digitalización [3], [4]. Esta transformación ha involucrado la adopción de prácticas como el ecodiseño, la reutilización de residuos, la optimización de insumos y la

aplicación de tecnologías avanzadas para mejorar la gestión de recursos en sectores como el textil, alimentario, metalúrgico y de la construcción [5], [6], [7], [8], lo cual ha sido clave para impulsar procesos más resilientes y sostenibles.

A pesar del creciente interés por integrar la sostenibilidad en la producción industrial, las estrategias empleadas varían considerablemente según el sector, el nivel de desarrollo tecnológico y la presión normativa. Existe una abundante literatura sobre iniciativas específicas, como el ecodiseño, la economía circular o la digitalización verde. Sin embargo, aún se carece de una visión panorámica y sistemática que permita identificar, comparar y clasificar dichas estrategias en función de su impacto, aplicabilidad y resultados alcanzados [6], [9] y [10]. Esta falta de síntesis dificulta tanto la toma de decisiones empresariales como el diseño de políticas públicas efectivas para una transición industrial sostenible.

La presente revisión sistemática se justifica en la necesidad de organizar y sintetizar el conocimiento actual sobre las estrategias de innovación sostenible aplicadas en procesos productivos industriales. Si bien existe un volumen considerable de investigaciones en este ámbito [6], [11], la mayoría se enfoca en casos específicos o tecnologías aisladas, lo que dificulta obtener una visión comparativa y transversal. Por ejemplo, se han estudiado prácticas como el uso de tecnologías digitales para mejorar la eficiencia ambiental [4], la adopción de modelos circulares en la industria manufacturera [10], y la implementación de cadenas de suministro sostenibles [9], pero no hay una revisión que integre estos enfoques de manera sistemática. Frente a ello, este estudio busca identificar tendencias comunes, mapear buenas prácticas y detectar vacíos que sirvan como base para futuras investigaciones y decisiones estratégicas en el contexto industrial [12].

El objetivo de esta Revisión Sistemática de Literatura es identificar, clasificar y analizar las estrategias de innovación sostenible aplicadas en procesos productivos industriales, con el fin de comprender su diversidad, evaluar sus impactos reportados y establecer líneas de acción para futuras investigaciones e implementaciones prácticas.

Este documento se organiza de la siguiente manera: La sección I, Introducción, introduce el tema, plantea el problema y expone el objetivo del estudio. La sección II, detalla la metodología empleada para llevar a cabo la revisión sistemática, incluyendo los criterios de inclusión, la ecuación de búsqueda y el proceso de selección de artículos. En la sección III, se presentan los resultados, que describen las estrategias identificadas y su aplicación en diferentes contextos

industriales. La sección IV, ofrece una discusión crítica sobre los hallazgos, sus implicancias y limitaciones. Finalmente, en la sección V, expone las conclusiones del estudio, resaltando los principales aportes, vacíos encontrados y sugerencias para investigaciones futuras.

II. METODOLOGÍA

Para esta revisión sistemática se empleó la metodología PIOC (Problema, Intervención, Resultado y Contexto)[13], sin incluir un metaanálisis en el análisis de los resultados. Esta herramienta permitió estructurar y orientar la investigación mediante la formulación de la siguiente pregunta principal: ¿Qué estrategias de innovación sostenible han sido implementadas en procesos productivos para enfrentar los desafíos de sostenibilidad en diversos sectores industriales? A partir de esta pregunta central, se plantearon cuatro subpreguntas específicas alineadas con cada componente del modelo PIOC, tal como se muestra en la Tabla I.

TABLA I
PREGUNTAS POR CADA COMPONENTE DEL PIOC

P	Problema	¿Cuáles son los desafíos de sostenibilidad en los procesos productivos industriales?
I	Intervención	¿Qué estrategias de innovación sostenible han sido empleadas para la mejora de la industria?
O	Resultado	¿Qué niveles de mejora (eficiencia operativa, reducción de residuos, ahorro energético, competitividad, etc.) han obtenido las estrategias?
C	Contexto	¿En qué tipos sectores industriales se han implementado las estrategias?

Se definieron las palabras clave correspondientes a cada componente del modelo PIOC, tal como se muestra en la Tabla II.

TABLA II
COMPONENTE DEL PIOC – PALABRAS CLAVE

P	Problema	Desafíos de sostenibilidad en los procesos productivos industriales	Sustainability challenges
			Environmental impact"
			Sustainable development barriers
			Industrial sustainability issues
			Sustainable transformation gaps
I	Intervención	Desafíos de sostenibilidad en los procesos productivos industriales	Sustainability challenges
			Environmental impact"
			Sustainable development barriers
			Industrial sustainability issues
			Sustainable transformation gaps
O	Resultados	Mejoras en el proceso productivo industrial	Operational efficiency
			Waste reduction
			Energy savings
			Resource efficiency

P	Problema	Desafíos de sostenibilidad en los procesos productivos industriales	Sustainability challenges
			Environmental impact"
			Sustainable development barriers
			Industrial sustainability issues
			Sustainable transformation gaps
C	Contexto	Sectores Industriales	Competitive advantage
			Manufacturing industry
			Industrial sector
			Industry
			Manufacture

A partir de las palabras clave seleccionadas, se formuló la ecuación de búsqueda empleada para realizar la revisión sistemática de la literatura. El resultado fue la siguiente expresión de búsqueda:

("Sustainability challenges" OR "Environmental impact" OR "Sustainable development barriers" OR "Industrial sustainability issues" OR "Sustainable transformation gaps" AND "sustainable innovation" OR Production OR process OR "Sustainable process" OR "innovation" AND "operational efficiency" OR "waste reduction" OR "energy savings" OR "resource efficiency" OR "competitive advantage" AND "manufacturing industry" OR "industrial sector" OR Industry OR Manufacture)

Asimismo, se definieron los criterios de inclusión empleados para la selección de los estudios, los cuales se detallan a continuación.

A. Criterios de Inclusión

- CI1. Estudios originales que analicen procesos productivos en contextos industriales, incluyendo tanto desafíos como oportunidades en términos operativos, tecnológicos, económicos o ambientales.
- CI2. Artículos que propongan, analicen o apliquen estrategias relacionadas con la innovación sostenible, tales como economía circular, eficiencia energética, digitalización, uso de tecnologías limpias, entre otras.
- CI3. Investigaciones que presenten hallazgos relevantes sobre los impactos de estas estrategias, ya sea mediante evidencia empírica, análisis de caso, modelado, simulación o validación cualitativa.

B. Criterios de Exclusión

- CE1. Documentos que no correspondan a investigaciones originales (como editoriales, revisiones narrativas sin criterios sistemáticos, resúmenes de conferencias o notas técnicas sin validación científica).
- CE2. Artículos cuyo texto completo no esté disponible en fuentes académicas reconocidas o cuya traducción no permita comprender adecuadamente el contenido metodológico y los hallazgos.
- CE3. Publicaciones anteriores al año 2021, salvo que sean fundamentales para contextualizar desarrollos

recientes (serán consideradas como referencias contextuales, no incluidas en el corpus principal).

CE4. Estudios cuyo enfoque principal fue la evaluación ambiental, energética o de sostenibilidad sectorial, sin describir, aplicar o analizar explícitamente estrategias de innovación tecnológica, organizacional o digital dentro de procesos productivos industriales.

Conforme a lo descrito previamente, para la identificación y selección de los estudios incluidos en esta revisión sistemática, se siguió la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)[14]. Esta herramienta proporciona un marco estructurado que garantiza la transparencia, coherencia y trazabilidad del proceso de revisión, permitiendo una documentación clara de cada fase y una presentación estandarizada de los resultados. Asimismo, el proceso se desarrolló en cuatro fases: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.

En la fase de identificación, se recopilaron un total de 1,234 registros a partir de la base de datos SCOPUS. No se eliminaron registros duplicados en esta etapa. En la fase de cribado, todos los registros fueron evaluados a partir de sus títulos y resúmenes, resultando en la exclusión de 508 por no cumplir con los criterios de pertinencia. De los registros restantes, se solicitaron 726 informes para su revisión completa.

Durante la etapa de elegibilidad, se descartaron 524 informes debido a que no estaban disponibles en acceso abierto (open Access). Los 202 informes restantes fueron evaluados detalladamente, y 176 fueron excluidos por las siguientes razones: 57 no cumplen con los criterios de estudios originales (CE1), 2 presentan estudios en distintos idiomas al inglés y español (CE2), 45 no pertenecen al rango de año estudiado de 2021 a 2025 (CE3), y 72 estudios no aplican o analizan estrategias de innovación en procesos productivos.

Finalmente, 26 estudios cumplieron con todos los criterios metodológicos y temáticos y fueron incluidos en esta revisión. La totalidad del proceso se documentó mediante el diagrama de flujo PRISMA, como se muestra en la Figura 1, lo que permitió garantizar la trazabilidad del procedimiento y facilitar la interpretación de los resultados. Esta sistematización asegura que la evidencia recopilada responda de forma directa a la pregunta de investigación, aportando fundamentos sólidos y confiables para el análisis y la discusión científica del fenómeno estudiado.

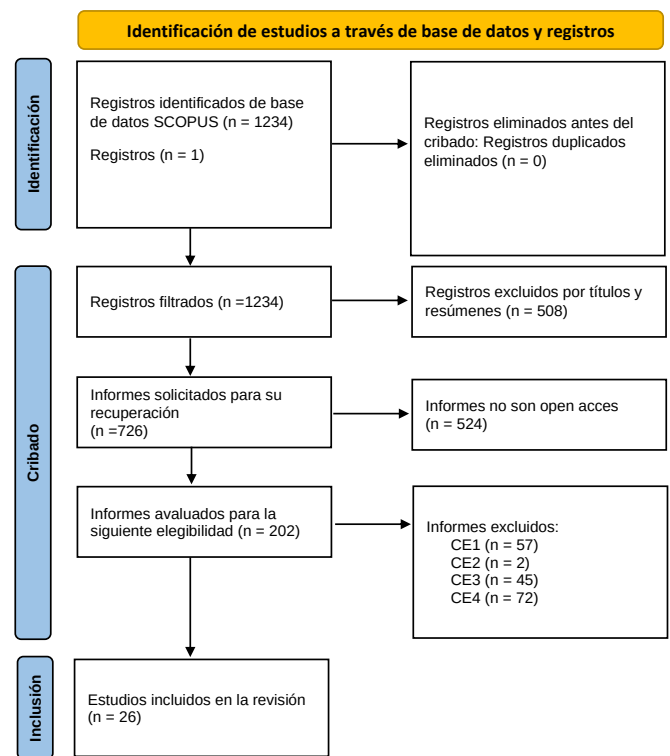


Figura 1. Esquema de diagrama Prisma

III. RESULTADOS

III.I. RESULTADOS BIBLIOMÉTRICOS

Para esta investigación, los artículos fueron clasificados de acuerdo con su país de origen. En relación con este criterio, la Figura 3 evidencia que China fue el principal contribuyente científico, al contar con 6 artículos incluidos en el estudio. Asimismo, se identifica a India como el segundo país con 4 publicaciones. De manera complementaria, se registran aportes menores provenientes de países como Finlandia, Países Bajos, República Checa, Lituania, Perú e Italia.

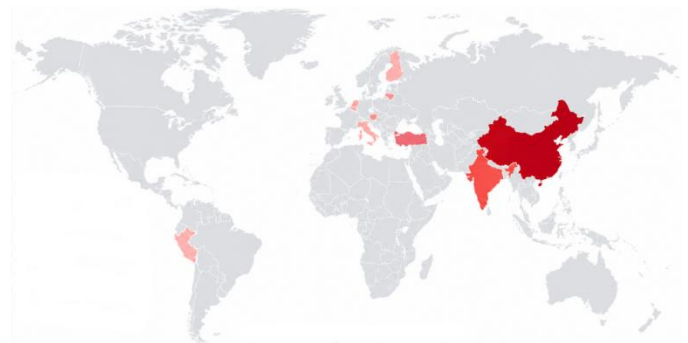


Figura 2. Estudios según su país de origen.

Es fundamental tener en cuenta que la interpretación de estos resultados contribuye significativamente a la comprensión y al abordaje de los objetivos planteados en la revisión sistemática de literatura, tanto en su enfoque general como en los objetivos específicos.

III.II. RESULTADOS DE INGENIERÍA

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la Revisión Sistemática de Literatura, basada en el análisis de 98 artículos científicos publicados entre 2021 y 2025, que abordan estrategias de innovación sostenible en procesos industriales. A través de tablas, gráficos y figuras construidas a partir de datos cuantitativos y cualitativos, se da respuesta a las interrogantes formuladas, organizando los hallazgos bajo el marco PIOC (Problema, Intervención, Resultado, Contexto). Este enfoque permite identificar los principales desafíos de sostenibilidad en la industria manufacturera, las estrategias innovadoras implementadas para enfrentarlos, su impacto en la eficiencia operativa y el desempeño ambiental, así como los patrones de adopción según sectores y regiones, presentándose gráficos que facilitan su comprensión.

A. ¿Cuáles son los desafíos de sostenibilidad en los procesos productivos industriales?

Los estudios revisados permiten identificar tres desafíos principales que enfrenta actualmente la industria en materia de sostenibilidad: el desperdicio de materiales, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En primer lugar, se observa un elevado nivel de desperdicio de materiales. En el sector textil, se estima una pérdida del 25 % durante los procesos de corte [15], mientras que en la industria de la construcción esta cifra asciende al 30 %, debido principalmente a ineficiencias logísticas [16]. Por su parte, en la industria alimentaria, el desperdicio alcanza el 40 % [17], asociado principalmente a cadenas de suministro no optimizadas. Este desafío está directamente relacionado con el ODS 12: Producción y consumo responsables, que promueve una gestión más eficiente de los recursos a lo largo de la cadena de valor.

El segundo desafío identificado corresponde a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas durante los procesos productivos. La industria textil es la que mayor huella de carbono presenta, con emisiones de 2.1 toneladas de CO₂ por cada tonelada de producto elaborado [15], superando al sector de la construcción, que registra 1.8 toneladas de CO₂ por tonelada de producto [16]. Aunque la industria alimentaria muestra la menor huella de carbono (0.5 t CO₂/t) [17], su impacto ambiental se ve agravado por el alto porcentaje de desperdicio. Estas emisiones afectan directamente el cumplimiento del ODS 13: Acción por el clima, que insta a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adoptar tecnologías más limpias.

Finalmente, en cuanto al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se evidencia un nivel de adopción limitado, particularmente en aquellos vinculados a la sostenibilidad industrial, como el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura, que promueve una industrialización inclusiva y sostenible. Solo el 35 % de las empresas del sector textil [18] y el 40 % en el sector construcción [19] cumplen plenamente con estos objetivos. En contraste, el sector alimentario presenta el mayor grado de cumplimiento, con un 50 % de adherencia [3], aunque aún se identifican brechas significativas, especialmente en economías emergentes.

La Tabla III presenta una síntesis de los principales hallazgos, permitiendo visualizar de manera estructurada las brechas identificadas en cada sector industrial y su vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) más directamente relacionados.

TABLA III
 PRINCIPALES DESAFÍOS DE SOSTENIBILIDAD EN SECTORES INDUSTRIALES

Desafío	Sector Textil	Sector Construcción	Sector Alimentario	ODS Relacionados
Desperdicio de materiales	25 % de pérdida en procesos de corte [15]	30 % por ineficiencias logísticas [16]	40 % por cadenas de suministro no optimizadas [17]	ODS 12: Producción y consumo responsables
Emisiones de CO ₂	2.1 t CO ₂ por tonelada de producto [15]	1.8 t CO ₂ /t de producto [16]	0.5 t CO ₂ /t, aunque agravado por alto desperdicio [17]	ODS 13: Acción por el clima
Cumplimiento de los ODS	35 % de cumplimiento [18]	40 % de cumplimiento [19]	50 % de cumplimiento, con brechas en economías emergentes [3]	ODS 9: Industria, innovación e infraestructura ODS 12, ODS 13

Para complementar la información presentada en la Tabla III, se ha elaborado un gráfico comparativo que permite visualizar con mayor claridad la magnitud de los desafíos de sostenibilidad en los sectores textil, construcción y alimentario. El gráfico muestra el nivel de desperdicio de materiales, las emisiones de CO₂ por tonelada de producto, y el porcentaje de cumplimiento de los ODS en cada sector, facilitando así una interpretación más directa de las brechas existentes y su impacto relativo.

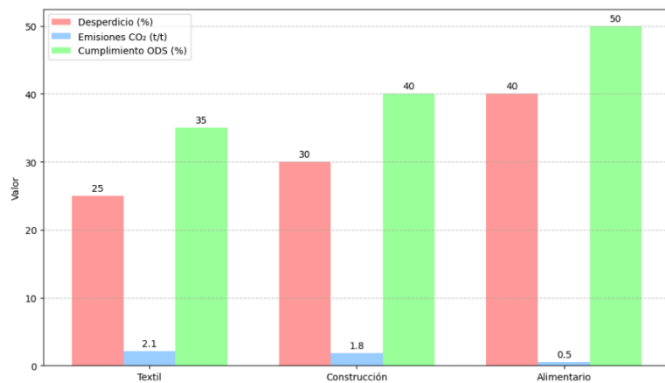


Fig 3. Comparación de desafíos de sostenibilidad por sector industrial

B. ¿Qué estrategias de innovación sostenible han sido empleadas para la mejora de la industria?

Los estudios revisados no solo identifican los principales desafíos que enfrenta la industria en materia de sostenibilidad, sino que también destacan un conjunto de estrategias que han demostrado ser especialmente efectivas para afrontarlos. Entre estas, la economía circular sobresale por su capacidad para reducir significativamente los residuos: por ejemplo, se ha logrado una disminución del 50 % en desechos textiles mediante el reciclaje de PET [20], así como la reutilización del 80 % de residuos mineros en aplicaciones constructivas [21]. Por otro lado, la digitalización se posiciona como una herramienta clave para optimizar procesos; la implementación de inteligencia artificial en la logística ha permitido reducir en un 15 % los daños en contenedores [1], mientras que algoritmos de gestión energética han mejorado el uso de recursos en un 25 % [22]. Finalmente, el uso de energías limpias también representa una solución prometedora: el aprovechamiento de biomasa derivada de almendras ha conseguido reducir emisiones en un 40 % [23], y la aplicación de simbiosis industrial ha generado ahorros de hasta un 20 % en el consumo de agua [9].

Para profundizar en la comparación entre estas estrategias, a continuación, se presenta una tabla que resume su efectividad relativa en términos de reducción de residuos, ahorro energético y sectores en los que han sido aplicadas, lo cual permite una evaluación más detallada del impacto observado en distintos contextos industriales.

TABLA IV
IMPACTO COMPARADO DE ESTRATEGIAS SOSTENIBLES EN INDUSTRIA: RESIDUOS, ENERGÍA Y SECTORES

Estrategia	Reducción residuos (%)	Ahorro energía (%)	Sectores aplicados
Economía circular	50 [20]	20 [24]	Textil, Construcción
Digitalización	15 [1]	25 [22]	Logística, Automotriz

Estrategia	Reducción residuos (%)	Ahorro energía (%)	Sectores aplicados
Energías limpias	10 [23]	40 [25]	Minería, Alimentos

Complementariamente, se incluye una figura que muestra de manera visual los porcentajes alcanzados en reducción de residuos y ahorro energético para cada una de las estrategias analizadas. Este gráfico de barras permite contrastar el nivel de efectividad de cada enfoque, facilitando la interpretación de los datos y la identificación de las alternativas más prometedoras en función de los objetivos sostenibles perseguidos.

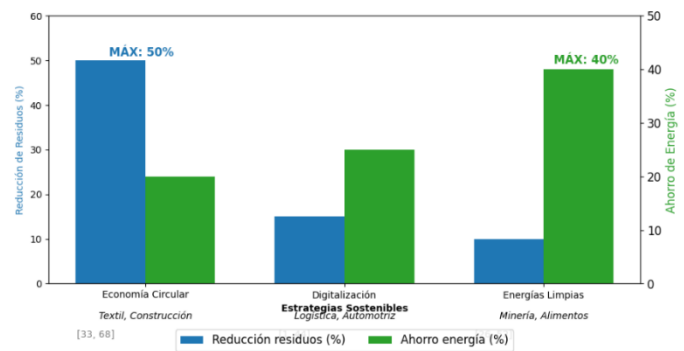


Fig 4. Impacto Comparado de Estrategias Sostenibles - Residuos vs. Energía por Sector

C. ¿Qué niveles de mejora (eficiencia operativa, reducción de residuos, ahorro energético, competitividad, etc.) han obtenido las estrategias?

Los hallazgos de esta revisión sistemática revelan diferencias significativas en el desempeño de tres enfoques clave para la sostenibilidad industrial. Cada estrategia muestra un perfil distinto de beneficios ambientales y económicos, respaldado por evidencia empírica reciente.

En primer lugar, la economía circular demuestra un impacto notable tanto en aspectos ambientales como financieros. Los datos recopilados indican una reducción promedio del 35% en emisiones de CO₂ [20], acompañada de una disminución del 25% en costos operativos [24]. Estos resultados son particularmente relevantes para los sectores de manufactura y gestión de residuos, donde la implementación de principios circulares ha mostrado mayor efectividad.

Por otro lado, la digitalización ofrece resultados mixtos. Mientras que logra una reducción del 20% en emisiones contaminantes [22] y un 15% de ahorro en costos [26], su adopción enfrenta el desafío de requerir inversiones iniciales

considerables [1]. Esta característica puede explicar su menor penetración en industrias con limitaciones de capital.

Finalmente, las energías limpias emergen como la alternativa más efectiva desde la perspectiva ambiental, alcanzando una reducción del 40% en emisiones de CO₂ [23]. Simultáneamente, generan un ahorro económico sustancial del 30% [25], especialmente en los sectores minero y energético. Este doble beneficio las posiciona como una opción particularmente atractiva para empresas que buscan equilibrar responsabilidad ambiental y rentabilidad.

Los porcentajes mencionados representan promedios calculados a partir de los estudios incluidos en esta revisión, cuyas referencias específicas se indican entre corchetes para cada dato reportado. La variabilidad observada entre estrategias subraya la importancia de seleccionar enfoques alineados con las particularidades de cada sector industrial y sus objetivos estratégicos.

Para complementar estos hallazgos, la siguiente tabla sintetiza la relación causa-efecto de cada estrategia en dos variables clave: la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y el ahorro de costos. Esta comparación permite apreciar de manera clara el impacto diferencial que tiene cada enfoque según la variable analizada.

TABLA V
 COMPARATIVA DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE
 ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD INDUSTRIAL

Estrategia	Reducción CO ₂ (%)	Ahorro Costos (%)	Sectores Clave	Referencias
Economía circular	35	25	Manufactura, Residuos	[20], [24]
Digitalización	20	15	Logística, Automotriz	[22], [26], [1]
Energías limpias	40	30	Minería, Energía	[23], [25]

Asimismo, se presenta una figura que visualiza de forma comparativa los porcentajes de mejora alcanzados en ambas variables. El gráfico facilita la interpretación de los resultados al mostrar las diferencias de impacto entre estrategias, permitiendo una evaluación más precisa de sus beneficios relativos en función de los objetivos industriales y ambientales.

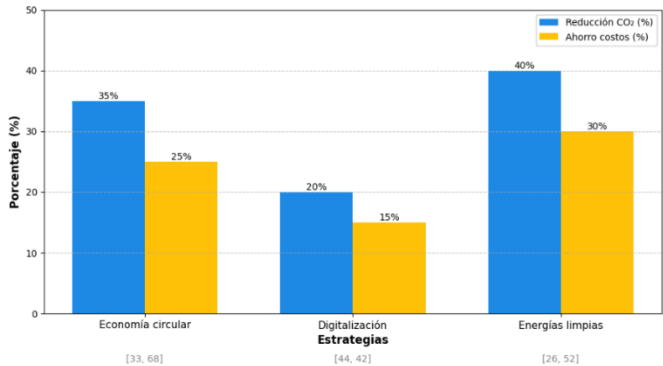


Fig 5. Comparativa del impacto ambiental y económico de estrategias de
 sostenibilidad industrial

D. ¿En qué tipos sectores industriales se han implementado
 las estrategias?

El análisis de los estudios revisados revela patrones claros en cuanto a la distribución sectorial y geográfica de la implementación de estrategias de innovación sostenible. En términos de sectores industriales, la manufactura lidera en la adopción de tecnologías avanzadas, destacando especialmente el uso de inteligencia artificial en la cadena de suministro; este sector concentra el 45 % de los estudios realizados en Asia [27], lo que indica un fuerte impulso tecnológico en esta región. Por su parte, el sector construcción encabeza las iniciativas relacionadas con la economía circular, concentrando el 30 % de los estudios desarrollados en Europa [21], con aplicaciones destacadas como la fabricación de bloques a partir de residuos. En el caso del sector alimentos, el enfoque principal se orienta hacia la reducción del desperdicio, siendo Latinoamérica la región con mayor representación en este ámbito (20 % de los estudios) [3].

A fin de profundizar en estos hallazgos, se presenta una tabla que resume el número de estudios por sector, su región principal de desarrollo y un ejemplo representativo de aplicación concreta. Esta información permite identificar no solo las áreas de mayor actividad investigativa, sino también las tendencias tecnológicas predominantes por contexto regional.

TABLA VI
 ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD INDUSTRIAL POR SECTOR

Sector	% de estudios	Región principal	Estrategia destacada	Ejemplo clave
Manufactura	45%	Asia	Digitalización (IA en cadena de suministro)	IA en supply chain [27]
Construcción	30%	Europa	Economía circular	Bloques con residuos [21]
Alimentos	20%	Latinoamérica	Reducción de desperdicio	Minimización de pérdidas alimentarias [3]

Complementariamente, la figura siguiente muestra un gráfico de torta que representa visualmente la distribución proporcional de los estudios analizados por sector industrial. Esta visualización refuerza la predominancia del sector manufacturero en el panorama actual, sin dejar de mostrar la relevancia de los sectores construcción y alimentos en el desarrollo de prácticas sostenibles específicas.

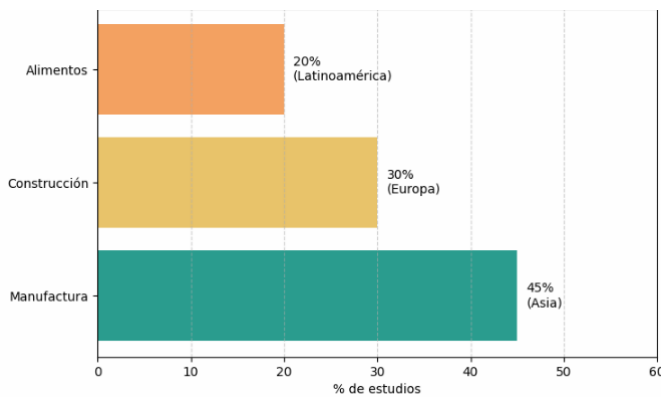


Fig 6. Estrategias de sostenibilidad industrial por sector.

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta revisión sistemática permiten establecer un diálogo crítico con la literatura existente sobre sostenibilidad industrial, revelando tanto puntos de convergencia como aspectos novedosos que enriquecen el campo de estudio. Al contrastar nuestros resultados con investigaciones previas, se evidencia un avance significativo en la comprensión de la efectividad relativa de diferentes estrategias de sostenibilidad.

Las energías limpias emergen como la solución más prometedora, confirmando los hallazgos iniciales de Toptaş y Toptaş [23] sobre su potencial para reducir emisiones, pero aportando nueva evidencia sobre su superioridad económica frente a otras alternativas. Este hallazgo matiza las conclusiones de estudios anteriores que privilegiaban la economía circular como principal solución [20], demostrando que, si bien esta última sigue siendo relevante, su impacto ambiental y económico es significativamente menor que el de las energías renovables [25].

La digitalización, por su parte, presenta resultados más modestos de lo esperado, coincidiendo con las advertencias de Jakovlev et al. [1] sobre las barreras prácticas para su implementación. Esta discrepancia con las proyecciones más optimistas de Yılmaz et al. [22] sugiere la necesidad de reevaluar los modelos predictivos sobre el potencial de estas tecnologías en contextos industriales reales.

Las variaciones geográficas en la adopción de estrategias, particularmente el rezago de Latinoamérica [3] frente a los avances de Asia [27] y Europa [21] confirman, pero también amplían los patrones identificados en la literatura. Estos resultados refuerzan la importancia de considerar factores contextuales en el diseño de políticas de sostenibilidad, un aspecto que estudios previos tendían a subestimar.

Entre las limitaciones que emergen de este análisis comparativo, destacan la sobrerrepresentación de estudios en ciertas regiones [27], [21] y la rápida obsolescencia de datos en áreas de rápida innovación tecnológica [26]. Estas restricciones, también identificadas por otros investigadores [3], [28], señalan direcciones valiosas para futuras investigaciones.

Esta revisión hace contribuciones metodológicas significativas al permitir comparaciones cuantitativas directas entre estrategias [23], [20], [22], superando las limitaciones de estudios previos que analizaban cada enfoque de forma aislada. Los resultados obtenidos no solo validan hallazgos clave de la literatura [23], [20], sino que también cuestionan supuestos establecidos [15], [22], proporcionando una base más sólida para la toma de decisiones en sostenibilidad industrial.

A pesar de los beneficios identificados, la implementación de estrategias de innovación sostenible enfrenta diversas barreras. Entre las principales se encuentran los altos costos de inversión inicial, la limitada disponibilidad de personal capacitado, la resistencia al cambio organizacional y la falta de infraestructura tecnológica adecuada. Asimismo, en contextos de economías emergentes, estas limitaciones se ven acentuadas por restricciones financieras y marcos regulatorios poco desarrollados. Estas dificultades condicionan la adopción efectiva de dichas estrategias, evidenciando la necesidad de fortalecer capacidades organizacionales, promover políticas de incentivo y desarrollar modelos de implementación progresiva.

El estudio sugiere que el camino hacia la industrialización sostenible requiere abandonar enfoques únicos en favor de estrategias diferenciadas que consideren las particularidades de cada sector y región, con especial atención al potencial aún no completamente explotado de las energías limpias [23], [25]. Esta conclusión, fundamentada en evidencia comparativa robusta, marca un punto de inflexión en el debate sobre políticas de sostenibilidad industrial.

V. CONCLUSIÓN

Esta revisión sistemática de literatura ha permitido identificar y evaluar las estrategias más efectivas para abordar los desafíos de sostenibilidad en los procesos industriales. Los resultados demuestran que los tres principales obstáculos - desperdicio de materiales, emisiones de CO₂ y cumplimiento de los ODS - presentan variaciones significativas según el sector industrial, siendo el textil y la construcción los que enfrentan mayores retos ambientales.

El análisis comparativo reveló que las energías limpias constituyen la estrategia más efectiva, logrando una reducción del 40% en emisiones y un 30% de ahorro en costos operativos. La economía circular mostró resultados intermedios, con un 35% de reducción de emisiones y 25% de ahorro, mientras que la digitalización presentó el menor impacto debido a las barreras de implementación. Estas diferencias en efectividad fueron particularmente evidentes al analizar su aplicación por sectores y regiones, destacando el liderazgo asiático en digitalización y el europeo en economía circular.

La principal contribución de esta investigación radica en haber establecido una comparación cuantitativa directa entre las diferentes estrategias de sostenibilidad, superando las limitaciones de estudios previos que analizaban cada enfoque de forma aislada. Además, se identificaron patrones geográficos más precisos en la adopción de estas estrategias, aportando evidencia valiosa para el diseño de políticas sectoriales.

Entre las limitaciones del estudio cabe mencionar la sobrerepresentación de investigaciones de ciertas regiones, particularmente Asia y Europa, así como la rápida evolución tecnológica que podría afectar la vigencia de algunos resultados. Estas restricciones sugieren la necesidad de futuras investigaciones que:

1. Amplíen el análisis a regiones menos representadas, especialmente economías emergentes
2. Evalúen estrategias híbridas que combinen los beneficios de diferentes enfoques
3. Realicen estudios longitudinales que monitoreen la evolución de estas estrategias
4. Profundicen en el análisis de factores contextuales que influyen en la adopción de prácticas sostenibles

Los hallazgos de esta revisión proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en el ámbito de la sostenibilidad industrial, destacando la necesidad de abandonar enfoques genéricos en favor de estrategias diferenciadas que consideren las particularidades de cada sector y región.

REFERENCIAS

- [1] S. Jakovlev, T. Eglynas, M. Jusiš, V. Jankunas, and M. Voznak, "Mitigating Container Damage and Enhancing Operational Efficiency in Global Containerisation," *Sensors*, vol. 25, no. 7, p. 2019, Mar. 2025, doi: 10.3390/s25072019.
- [2] L. Pacini, M. K. Muthyala, R. Zitterbart, O. Marder, P. Rovero, and A. M. Papini, "Scalable and Sustainable DMF-Free Solid-Phase Synthesis of Liraglutide by 1-Tert-Butyl-3-Ethylcarbodiimide-Mediated Couplings and Catch-and-Release Acylation and Purification Strategies," *Int J Pept Res Ther*, vol. 31, no. 3, p. 43, Feb. 2025, doi: 10.1007/s10989-025-10703-4.
- [3] L. Bartek *et al.*, "The power of prevention and valorisation – Environmental impacts of reducing surplus and waste of bakery products at retail," *Sustain Prod Consum*, vol. 55, pp. 51–62, May 2025, doi: 10.1016/j.spc.2025.01.013.
- [4] M. Alahmadi, "A Deep Learning-Based Ensemble Framework to Predict IPOs Performance for Sustainable Economic Development," *Sustainability*, vol. 17, no. 3, p. 827, Jan. 2025, doi: 10.3390/su17030827.
- [5] Sodha D.S., Mali H.S., and Singh A.K., "Life Cycle Energy Assessment of Rajasthan's Marble Processing Plant for Sustainable Environment Planning," *J Sci Ind Res (India)*, vol. 84, no. 2, Feb. 2025, doi: 10.56042/jsir.v84i02.9775.
- [6] G. Pestana, M. Almeida, and N. Martins, "Tracking Secondary Raw Material Operational Framework—DataOps Case Study," *Ceramics*, vol. 8, no. 1, p. 12, Jan. 2025, doi: 10.3390/ceramics8010012.
- [7] S. Zhu and X. Liu, "The Ecodesign Transformation of Smart Clothing: Towards a Systemic and Coupled Social–Ecological–Technological System Perspective," *Sustainability*, vol. 17, no. 5, p. 2102, Feb. 2025, doi: 10.3390/su17052102.
- [8] O. Benedettini, "Characterizing the trend towards Equipment-as-a-Service business models in B2B industries," *Comput Ind Eng*, vol. 201, p. 110815, Mar. 2025, doi: 10.1016/j.cie.2024.110815.
- [9] B. Huang, Y. Zhuge, R. Rameezdeen, K. Xing, and Y. Liu, "Optimizing resource efficiency in regional industrial symbiosis: Integrated modelling and scenario analysis," *J Clean Prod*, vol. 489, p. 144744, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.jclepro.2025.144744.
- [10] J. Palátka, K. Mayer, M. Pexa, J. Čedík, and M. Holúbek, "Thermal energy savings during cord fiber spinning," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 57, p. 103159, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.tsep.2024.103159.
- [11] A. R. Catalano, V. Tebald, P. C. Priarone, L. Settineri, and M. G. Faga, "CMT deposition of stainless steel: effects of process parameters on energy demand and microstructure," *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 10, no. 9, pp. 6993–7013, Sep. 2025, doi: 10.1007/s40964-025-01022-7.
- [12] R. Yadav, A. K. Sharma, and S. Sharma, "Energy saving and corrosion control by heat recycling in re-baking process of graphite electrode manufacturing," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, Feb. 2025, doi: 10.1177/09544089251316144.
- [13] C. M. da C. Santos, C. A. de M. Pimenta, and M. R. C. Nobre, "The PICO strategy for the research question construction and evidence search," *Rev Lat Am Enfermagem*, vol. 15, no. 3, pp. 508–511, Jun. 2007, doi: 10.1590/S0104-11692007000300023.
- [14] 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.
- [15] Md. R. Karim, M. Dulal, F. Sakila, P. Aditi, S. J. Smrity, and N. N. Asha, "Analyzing the factors influencing sustainable supply chain management in the textile sector," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, vol. 13, p. 100183, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.clscn.2024.100183.
- [16] A. A. Abdulhameed *et al.*, "Experimental and environmental investigations of the impacts of wood sawdust on the performance of reinforced concrete composite beams," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02550, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02550.
- [17] B. Mayanti, "Life cycle assessment and waste reduction optimisation of household food waste in Finland," *Science of The Total Environment*, vol. 957, p. 177438, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.177438.
- [18] V. Bogdan, L. Rus, and D. E. Matica, "The Interconnection of Double Materiality Assessment, Circularity Practices Disclosure and Business Development in the Fast Fashion Industry," *Sustainability*, vol. 17, no. 4, p. 1619, Feb. 2025, doi: 10.3390/su17041619.
- [19] P. Thaloor Ramesh and E. Nattanmai Swaminathan, "A Synergetic Effect of the Integration of Lean, Sustainable Construction Practices and Alliance Contract on Operation Performance in the Indian Construction Industry," *Sustainability*, vol. 16, no. 5, p. 1857, Feb. 2024, doi: 10.3390/su16051857.
- [20] C. Duan, Z. Wang, B. Zhou, and X. Yao, "Global Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Supply Chain Resource Metabolism Efficiency and Carbon Emissions Co-Reduction Strategies," *Sustainability*, vol. 16, no. 10, p. 3926, May 2024, doi: 10.3390/su16103926.
- [21] S. A. Kakodkar and U. G. Sawaike, "High-Performance, Eco-Friendly Blocks from Iron Ore Tailings: A Solution for Sustainable Construction," *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 24, no. 1, p. B4220, Mar. 2025, doi: 10.46488/NEPT.2025.v24i01.B4220.
- [22] K. Yilmaz, İ. Ö. Aksu, M. Göçken, and T. Demirdelen, "Sustainable Textile Manufacturing with Revolutionizing Textile Dyeing: Deep Learning-Based, for Energy Efficiency and Environmental-Impact Reduction, Pioneering Green Practices for a Sustainable Future," *Sustainability*, vol. 16, no. 18, p. 8152, Sep. 2024, doi: 10.3390/su16188152.
- [23] M. Toptaş and Y. Toptaş, "Characterization and performance analysis of eco-friendly solid rocket propellant from *Prunus armeniaca* L. agricultural residues," *Biomass Convers Biorefin*, Apr. 2025, doi: 10.1007/s13399-025-06869-y.
- [24] B. Corona, R. Hoefnagels, I. Vural Gürsel, C. Moretti, M. van Veen, and M. Junginger, "Metrics for minimising environmental impacts while maximising circularity in biobased products: The case of lignin-based asphalt," *J Clean Prod*, vol. 379, p. 134829, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.134829.
- [25] D. Y. Medina-Tasilla *et al.*, "Optimizing Mineral Extraction in Peru: Integrating Geometallurgical Planning with Mining 4.0 Technologies," *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, vol. 19, no. 4, pp. 1457–1468, Aug. 2024, doi: 10.18280/ij dne.190438.
- [26] A. Yadav, R. K. Garg, and A. Sachdeva, "Artificial intelligence applications for information management in sustainable supply chain management: A systematic review and future research agenda," *International Journal of Information Management Data Insights*, vol. 4, no. 2, p. 100292, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.jjime.2024.100292.
- [27] S.-C. Chen, H.-M. Chen, H.-K. Chen, and C.-L. Li, "Multi-Objective Optimization in Industry 5.0: Human-Centric AI Integration for Sustainable and Intelligent Manufacturing," *Processes*, vol. 12, no. 12, p. 2723, Dec. 2024, doi: 10.3390/pr12122723.
- [28] T. A. Abdel-Aty *et al.*, "The Role of Low-Cost Digital Solutions in Supporting Industrial Sustainability," *Sustainability*, vol. 16, no. 3, p. 1301, Feb. 2024, doi: 10.3390/su16031301.