

Impact of sustainable solutions in the textile industry: A systematic literature review

Enmi Deysi Quispe Sosa¹; Darlyn Chanell Rosales Manrique²; Carlos Enrique Bermudes Mendoza³
^{1,2,3}Technological University of Peru, Peru, U17208520@utp.edu.pe, U18215023@utp.edu.pe, C31163@utp.edu.pe

Abstract– This study aimed to analyze the impact of sustainable solutions implemented in the textile industry, assessing their effectiveness in reducing pollution and improving environmental performance. A systematic review design without meta-analysis was employed, following PRISMA guidelines and the PICO framework. The search was conducted in the Scopus database, considering publications between 2021 and 2025, and applying predefined inclusion and exclusion criteria. A total of 32 articles meeting the eligibility criteria were selected for detailed analysis. The results revealed that the most frequent issues are associated with textile waste, chemical waste, and high resource consumption. The most widely implemented sustainable solutions include textile recycling, cellulose recovery, bioprocesses, the use of natural dyes, and the valorization of agricultural waste, achieving notable efficiencies such as dye removals exceeding 97%, reductions in environmental impact close to 48%, and significant decreases in water and energy consumption. Furthermore, it was identified that these solutions are primarily applied in large and medium-sized enterprises, while digital technologies, although less frequent, are oriented towards environmental monitoring and traceability. In developing countries, economic viability emerges as a critical factor for scalability. In conclusion, recycling and material recovery technologies constitute the most effective strategies for promoting cleaner processes in the textile industry, while strengthening digital tools and validation in real-world environments represent key opportunities for advancing towards a more integrated circular economy.

Keywords-- Sustainability, circular economy, recycling, sustainable solutions, textile industry.

Impacto de las soluciones sostenibles en la industria textil: Una revisión sistemática de la literatura

Enmi Deysi Quispe Sosa¹; Darlyn Chanell Rosales Manrique²; Carlos Enrique Bermudes Mendoza³
^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú, Perú, U17208520@utp.edu.pe, U18215023@utp.edu.pe, C31163@utp.edu.pe

Resumen—El objetivo del estudio fue analizar el impacto de las soluciones sostenibles implementadas en la industria textil, evaluando su eficacia para reducir la contaminación y mejorar el desempeño ambiental. Se empleó un diseño de revisión sistemática sin metaanálisis, siguiendo los lineamientos PRISMA y el enfoque PICO. La búsqueda se realizó en la base de datos Scopus, considerando publicaciones entre 2021 y 2025 y aplicando criterios de inclusión y exclusión definidos previamente. Se seleccionaron 32 artículos que cumplieran con los criterios de elegibilidad para el análisis detallado. Los resultados revelaron que las problemáticas más frecuentes están asociadas a los residuos textiles, los desechos químicos y el alto consumo de recursos. Las soluciones sostenibles más implementadas incluyen el reciclaje textil, la recuperación de celulosa, los bioprocesos, el uso de colorantes naturales y la valorización de residuos agrícolas, alcanzando eficiencias destacadas como remociones de tintes superiores al 97%, reducciones del impacto ambiental cercanas al 48% y disminuciones importantes en consumo de agua y energía. Asimismo, se identificó que estas soluciones se aplican principalmente en empresas grandes y medianas, mientras que las tecnologías digitales, aunque menos frecuentes, se orientan al monitoreo y trazabilidad ambiental. En países en vías de desarrollo, la viabilidad económica emerge como factor crítico para su escalabilidad. En conclusión, las tecnologías de reciclaje y recuperación de materiales constituyen las estrategias más efectivas para promover procesos limpios en la industria textil, mientras que el fortalecimiento de herramientas digitales y la validación en entornos reales representan oportunidades clave para avanzar hacia una economía circular más integrada.

Palabras clave—Sostenibilidad, economía circular, reciclaje, soluciones sostenibles, industria textil.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria textil se ha consolidado como una de las más influyentes en la economía global, pero también como una de las más contaminantes y demandantes de recursos naturales. Desde la producción de fibras hasta el consumo final y la disposición de las prendas, este sector genera impactos significativos en el medio ambiente, incluyendo el uso intensivo de agua, la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación por colorantes y productos químicos, y la generación masiva de residuos [1], [2], [3]. Estudios recientes estiman que la industria textil es responsable de aproximadamente el 4 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, y que menos del 1 % de los residuos textiles posconsumo son reciclados, mientras que el resto termina en vertederos o es incinerado [1], [2], [4].

A nivel internacional, diversas investigaciones han abordado la problemática ambiental del sector textil desde

múltiples perspectivas. Por ejemplo, se han aplicado metodologías como el Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para evaluar los impactos ambientales de productos específicos, como camisetas de algodón o poliéster, considerando todas las etapas, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final [1], [5]. Asimismo, se han propuesto modelos de producción más sostenibles, tales como el uso de fibras recicladas provenientes de botellas PET, el aprovechamiento de residuos pre y posconsumo, y la integración de fuentes de energía renovable en la fabricación [4], [6]. También se han identificado impactos sociales relevantes, incluyendo la brecha salarial de género, las condiciones laborales precarias y la falta de responsabilidad social empresarial en varias etapas de la cadena de suministro [7].

Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten importantes vacíos de conocimiento y retos estructurales. Por un lado, la implementación de prácticas sostenibles se ve limitada por la complejidad de las cadenas de suministro globales, la baja trazabilidad de los procesos productivos y la falta de normativas ambientales estrictas en algunos países productores [1], [8], [9]. Por otro lado, muchas investigaciones se centran en temas puntuales o contextos específicos, dificultando la comparación de resultados y la formulación de estrategias aplicables en distintos entornos. Finalmente, existe una necesidad urgente de integrar de manera equilibrada los enfoques ambientales, sociales y económicos para alcanzar una verdadera sostenibilidad en la industria textil [5], [7].

Finalmente, la RSL se organiza de la siguiente manera: en la Sección 2 se expone la estrategia metodológica utilizada para la revisión sistemática de la literatura, siguiendo los lineamientos PRISMA y el enfoque PICO. La Sección 3 presenta los hallazgos principales, estructurados según los componentes del modelo PICO, donde se abordan tanto los tipos de contaminación presentes en la industria textil como las soluciones sostenibles aplicadas y sus efectos ambientales. La Sección 4 está dedicada a la discusión y, por último, en la Sección 5 se incluyen las conclusiones generales del estudio y se plantean posibles líneas de investigación futura.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo bajo la metodología de una revisión sistemática de literatura (RSL) ya que este estudio pretende analizar el impacto de las soluciones sostenibles en la industria textil.

Se procedió a utilizar la estrategia PICO para identificar los componentes de la presente investigación. PICO es una

técnica ampliamente reconocida para formular preguntas de investigación de forma clara y ordenada, dividiendo el tema en cuatro partes: Problema, Intervención, Comparación y Resultado. Esta estrategia facilita el enfoque, la búsqueda de información relevante y la claridad del estudio [10].

Los componentes identificados se muestran en la Tabla I. Es necesario mencionar que para este estudio no se utilizó el componente Comparación (C).

TABLA I
COMPONENTES PICO

Componentes		Descripción
Problema	P	Procesos contaminantes
Intervención	I	Soluciones sostenibles
Comparación	C	No aplica
Resultados	O	Procesos limpios
Contexto	C	Industria textil

Después de identificar los componentes del estudio, se procedió a formular la pregunta general a partir de los componentes PICO, siendo la siguiente: *¿Cuál es el impacto de las soluciones sostenibles para lograr procesos limpios dentro de la industria textil?*

Asimismo, se formuló las preguntas relacionadas a cada componente para un mejor análisis del estudio, siendo las siguientes: ¿Cómo se describe la contaminación en la industria textil? (RQ1), ¿Qué soluciones sostenibles se han implementado en la industria textil? (RQ2), ¿Cuáles son los resultados que generan las soluciones sostenibles en la industria textil? (RQ3) y ¿En qué área/tipo de la industria textil se han implementado las soluciones sostenibles? (RQ4).

Luego de definir los componentes del problema de investigación, se procedió a filtrar la búsqueda de artículos en la base de datos Scopus, base ampliamente utilizada en revisiones sistemáticas de ingeniería ambiental y sostenibilidad por su cobertura exhaustiva en dichas áreas. Se optó por Scopus como única base para garantizar consistencia en la indexación, calidad de metadatos y reproducibilidad del cribado, aunque se reconoce que esta decisión introduce sesgos de cobertura.

Las palabras clave específicas para cada componente del modelo PICO, tanto en inglés como en español, se presentan en la Tabla II.

TABLA II
PALABRAS CLAVE

	Palabras claves en español	Palabras clave en inglés
P	Contaminación, Residuos, Químicos	Pollution, Waste, Chemicals
I	Ecoamigable, Reciclaje, Energías renovables, Biotextiles	Eco-friendly, Recycling, Renewable energies, Biotextiles
C	No aplica	
O	Sostenibilidad, Disminución de gases, Ahorro de agua, Reducción de energía,	Sustainability, Reduction of gases, Water saving, Energy reduction, Social responsibility,

	Responsabilidad social, Desarrollo sostenible, Reducción de contaminación	Sustainable development, Pollution reduction
C	Industria textil, Textilería, Producción, Industria de la moda	Textile industry, Textiles, Production, Fashion industry

Al rodar la ecuación de búsqueda en setiembre 2025, se establecieron los siguientes filtros: se consideró un rango temporal del 2021 al 2025, se seleccionaron únicamente artículos como tipo de documento, se restringió el idioma al inglés y se delimitaron las áreas temáticas a Ciencias Ambientales e Ingeniería. La ecuación de búsqueda utilizada fue la siguiente:

(TITLE-ABS-KEY ("Pollution" OR "Waste" OR "Chemicals") AND TITLE-ABS-KEY ("Eco-friendly" OR "Recycling" OR "Renewable energies" OR "Biotextiles") AND TITLE-ABS-KEY ("Sustainability" OR "Reduction of gases" OR "Water saving" OR "Energy reduction" OR "Social responsibility" OR "Sustainable development" OR "Pollution reduction") AND TITLE-ABS-KEY ("Textile industry" OR "Textiles" OR "Production" OR "Fashion industry")) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2026 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

Como resultado, se identificaron 3454 estudios relevantes en la base de datos Scopus. Posteriormente, los registros fueron exportados en formato CSV y cargados en Microsoft Excel para su posterior análisis.

Una vez obtenidos los artículos, se establecieron criterios de elegibilidad que permitieron una revisión más precisa durante la aplicación de la metodología PRISMA, una herramienta que guía y estructura el proceso de revisiones sistemáticas, asegurando transparencia y rigurosidad en cada etapa del análisis [11].

Al elaborar los criterios de inclusión, se tomó en cuenta incorporar a los estudios que describan la ineficiencia de procesos contaminantes en la industria textil (CI1), que hayan implementado estrategias enfocadas en la optimización de soluciones sostenibles (CI2), y que muestren resultados o indicadores relacionados a la optimización de procesos limpios (CI3).

A su vez, se establecieron criterios de exclusión, descartando estudios que describan la ineficiencia de los procesos contaminantes en industrias que no se relacionen con lo textil (CE1), estudios que se encuentren en fase de implementación o que describan estrategias que integran soluciones sostenibles sin mencionar la implementación (CE2), y los estudios cuyo resultado está basado en simulaciones y que no hayan sido validados en un entorno real (CE3).

De los resultados tras descargar el archivo CSV e importar los datos a Excel se obtuvieron 3454 documentos. Dado que se utilizó una sola base de datos, no se encontraron documentos duplicados, por lo que se procedió directamente con la revisión de títulos y resúmenes. En esta primera etapa, se

excluyeron 2616 documentos, ya que no se relacionaban con el tema de estudio. Como resultado, se conservaron 838 documentos para la siguiente fase de cribado. No obstante, de estos documentos, 482 de ellos no pudieron ser recuperados porque no estaban disponibles a texto completo. Por lo tanto, se evaluaron 356 documentos para determinar su elegibilidad. De estos, se excluyeron 324 publicaciones por no cumplir con los criterios de inclusión y exclusión. Los motivos específicos de exclusión fueron: 82 estudios que describen la ineficiencia de los procesos contaminantes en industrias no relacionadas con el sector textil (CE1), 127 estudios en fase de implementación o que presentan estrategias sostenibles sin evidencia de aplicación (CE2), y 115 estudios basados únicamente en simulaciones sin validación en entornos reales (CE3). Finalmente, 32 documentos cumplieron con todos los criterios establecidos y fueron incluidos en el estudio. El flujo del proceso se presenta en la Fig. 1.

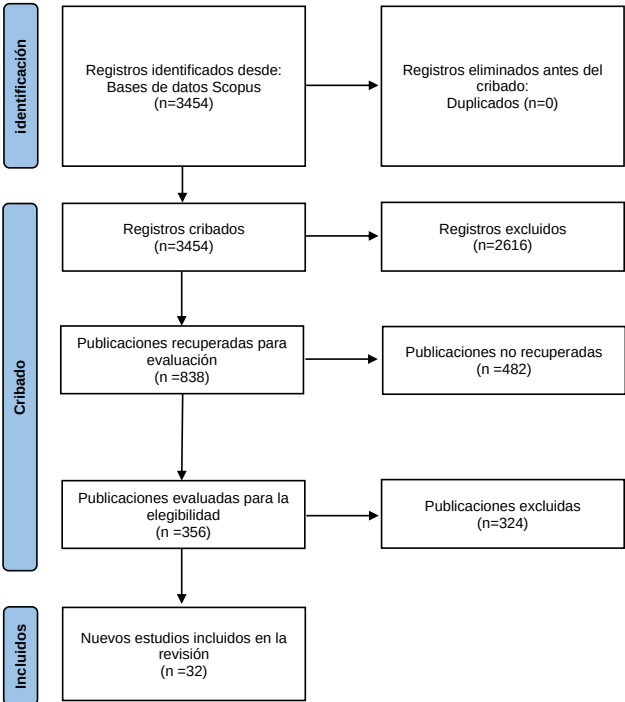


Fig. 1 Diagrama PRISMA.

III. RESULTADOS

Primero se presentan los resultados bibliométricos, que muestran las principales características de los artículos analizados. Estos datos permiten tener una idea general sobre cómo ha evolucionado la investigación relacionada con el impacto de las soluciones sostenibles en la industria textil.

El primer aspecto analizado fue el año de publicación de los artículos. En la Fig. 2 se observa un aumento progresivo en los últimos años. El 2025 fue el año con mayor número de

publicaciones (16 artículos), lo que demuestra el interés reciente y creciente en este tema dentro del ámbito científico.

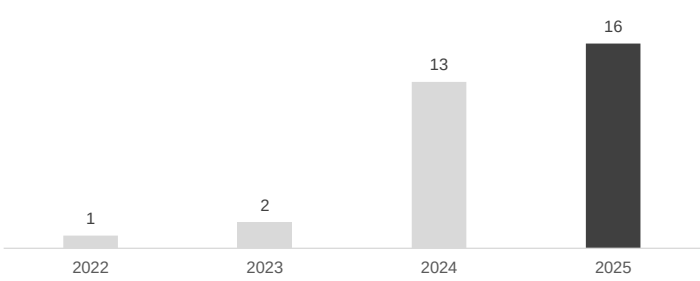


Fig. 2 Artículos por año

Con relación a las revistas de publicación (ver Tabla III) se observa que la revista Waste Management es la que registró mayor número de publicaciones, con un total de 5 artículos, destacándose como una de las principales fuentes de difusión en este tema.

TABLA III
REVISTAS DE PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS

Revista	Cantidad de publicaciones
Waste Management	5
Sustainability (Switzerland)	4
Journal of Cleaner Production	4
Waste Management and Research	3
Resources, Conservation and Recycling	2
Journal of Environmental Management	2
Science of the Total Environment	1
International Journal of Environmental Impacts	1
Sustainable Production and Consumption	1
Asian Textile Journal	1
Resources, Environment and Sustainability	1
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	1
Energy Science and Engineering	1
Journal of Manufacturing Science and Engineering	1
Environmental and Climate Technologies	1
Journal of the Textile Institute	1
International Journal of Environmental Sciences	1
Chemical Engineering Journal	1

En cuanto al país de origen de las publicaciones, los resultados muestran una participación internacional diversa en el estudio de las soluciones sostenibles aplicadas a la industria textil. Como se aprecia en la Fig. 3, los países con mayor número de publicaciones fueron Turquía y Estados Unidos, ambos con 4 artículos cada uno.

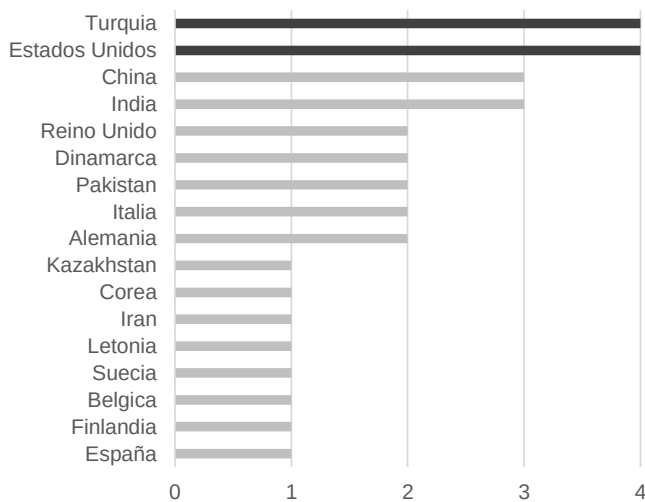


Fig. 3 País de publicación

Respecto al tipo de estudio y como se muestra en la Fig. 4, predomina el enfoque experimental, con un total de 15 artículos, lo que indica una fuerte orientación hacia la comprobación práctica y la aplicación de tecnologías sostenibles en contextos reales de la industria textil.

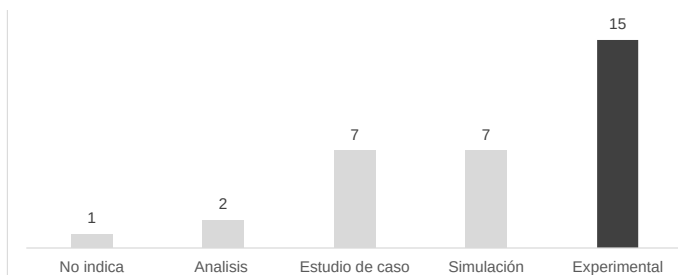


Fig. 4 Tipo de estudio

Finalmente, en el análisis de palabras clave (ver Fig. 5), el mapa de concurrencia revela tres clústeres principales: el primero, de color verde, resalta la industria textil y la relaciona con términos como reciclaje, economía circular y desarrollo sostenible; el segundo, de color rojo, agrupa conceptos como textiles y gestión de residuos, vinculados al manejo de los desechos textiles; y el tercero, de color azul, integra análisis del ciclo de vida y cambio climático, orientado a la evaluación de los impactos ambientales. En conjunto, el mapa evidencia que la sostenibilidad, el reciclaje y el impacto ambiental en la industria textil son los temas con mayor énfasis en la literatura analizada.

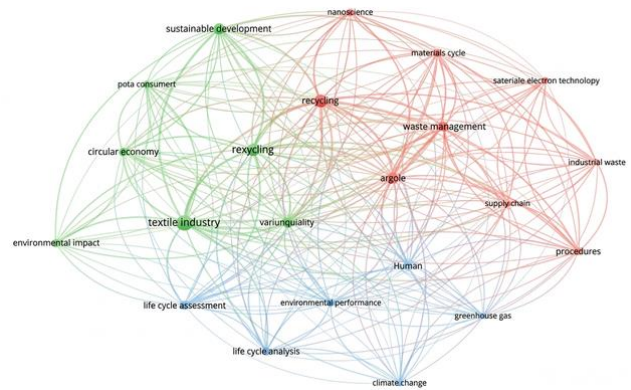


Fig. 5 Red de coocurrencia

En relación con los componentes del modelo PICO, el primer elemento corresponde al problema. El análisis de las fuentes revisadas muestra que la contaminación en la industria textil es una de las principales preocupaciones ambientales derivadas de los procesos productivos, ya que las etapas de teñido, lavado y disposición de residuos son las que generan los mayores impactos sobre el agua, el aire y el suelo [6], [12], [13].

Los resultados señalan que la contaminación textil se presenta principalmente en tres formas: sólida, hídrica y atmosférica, como se muestra en la Fig. 6. La contaminación sólida es la más frecuente y se asocia con la acumulación de residuos textiles antes y después del consumo, así como con la incineración de materiales mezclados que dificultan el reciclaje [14], [15], [16]; la contaminación hídrica se origina por el uso excesivo de agua y la presencia de colorantes y sustancias tóxicas en los vertidos [17], [18], [19]; finalmente, la contaminación del aire está vinculada al alto consumo de energía y a las emisiones generadas durante la fabricación de fibras sintéticas [20].

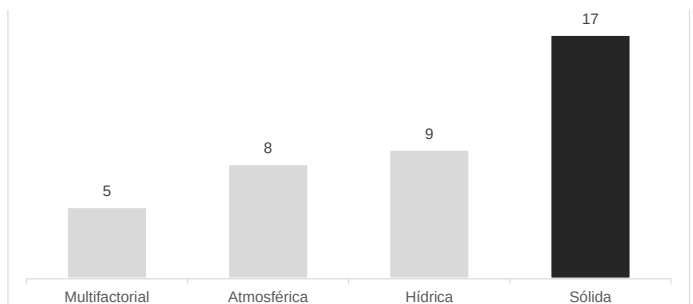


Fig. 6 Tipo de contaminación

En cuanto al origen de estos impactos, en la Fig. 7 se identificaron dos fuentes principales: los desechos textiles, que incluyen restos de fibras y prendas en desuso, y los desechos químicos, provenientes del uso de colorantes, mordientes y acabados industriales [18], [19], [21]. Los datos muestran que los residuos textiles son los más representativos (21 de 32

fuentes), aunque los residuos químicos, a pesar de ser menos frecuentes, resultan más peligrosos. Otros tipos de desechos, como los agrícolas o las emisiones secundarias, se mencionaron con poca frecuencia.

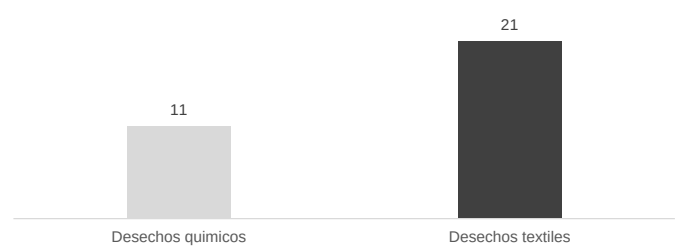


Fig. 7 Fuente de contaminación

Finalmente, las causas principales de la contaminación están relacionadas con la producción masiva y la moda rápida, que generan grandes volúmenes de desechos [14], [16], [22]; el uso de materiales vírgenes no reciclables, que incrementa el consumo de energía y químicos [23], [24]; y la falta de infraestructura para el reciclaje, que limita el aprovechamiento de los residuos [15], [25], [26], como se observa en la Fig. 8.



Fig. 8 Causas de contaminación

En el caso del componente I (Intervención), se reunieron las principales soluciones sostenibles aplicadas en la industria textil para reducir los efectos de los procesos contaminantes mencionados anteriormente. Los estudios analizados muestran un avance constante hacia prácticas más limpias, el uso eficiente de recursos y la integración de tecnologías digitales que ayudan a controlar el impacto ambiental [12], [27], [28].

En cuanto al tipo de tecnología (ver Fig. 9), la mayoría de las investigaciones proponen soluciones sostenibles centradas en el reciclaje textil, la recuperación de celulosa, la reutilización de residuos agrícolas y la producción de fibras recicladas. También se identifican iniciativas que emplean colorantes naturales o bioprocesos para reemplazar insumos contaminantes [6], [15], [29]; mientras que las tecnologías digitales, aunque menos comunes, se aplican principalmente al monitoreo y la trazabilidad de los procesos productivos mediante sistemas como blockchain, modelos multicriterio o herramientas de medición de emisiones [28], [30].

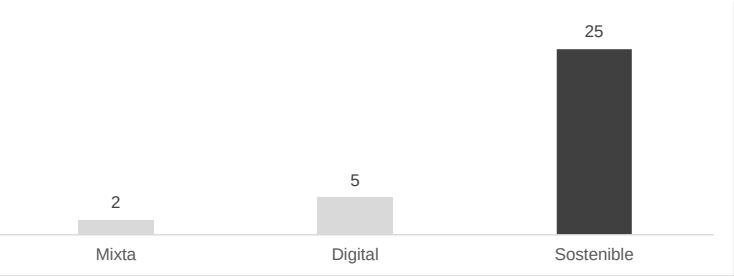


Fig. 9 Tipo de tecnología

En cuanto al nivel de validación (ver Fig. 10), la mayoría de las propuestas se encuentra en fase de simulación o laboratorio, destacando los análisis de ciclo de vida y los ensayos experimentales con materiales reciclados o bioprocesos [19], [21], [23]. Sin embargo, algunos estudios alcanzaron una implementación piloto, especialmente en el uso de Green Supply Chain Management (GSCM) y sistemas de trazabilidad ambiental [13], [31].

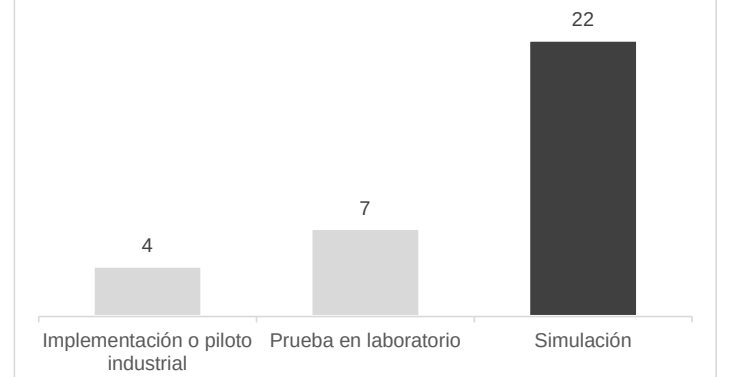


Fig. 10 Nivel de validación.

En el componente O (Resultados), se presentan los efectos obtenidos tras aplicar soluciones sostenibles en la industria textil, los cuales reflejan mejoras notables en la eficiencia de los procesos, un menor consumo de recursos y una reducción significativa de los impactos ambientales. El análisis coincide en que la incorporación de estas tecnologías ha impulsado una producción más limpia, responsable y con mejor aprovechamiento de los materiales [12], [27], [28].

Entre los resultados más importantes, en la Tabla IV se destaca que el uso de compost urbano como adsorbente logró eliminar hasta un 97 % de los tintes en el agua, reduciendo su toxicidad y demostrando ser una alternativa ecológica y económica [17]. De igual manera, la recuperación química de celulosa alcanzó una eficiencia del 97%, lo que permite reutilizar los residuos textiles en nuevos productos [27]. Además, el empleo de fibras recicladas r-PET combinadas con energía solar permitió reducir en un 14% el consumo de agua, y las técnicas de recuperación mecánica y física ayudaron a evitar la emisión de más de 25 millones de toneladas de CO2

al año, junto con un menor uso de agua y combustibles [6], [14].

TABLA IV
 PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS

Nº de fuente	Indicador o variable	Antes	Después	Resultado observado
[17]	Eficiencia de remoción de tintes	80%	97%	Se logró limpiar casi por completo el agua, quitando más del 90 % de los colorantes y haciéndola menos tóxica.
[27]	Recuperación de celulosa	0%	97%	Se pudo recuperar casi toda la celulosa que antes se desperdiciaba en los residuos textiles.
[6]	Reducción del consumo de agua	—	−14%	Se usó menos agua gracias a la combinación de materiales reciclados y energía solar.
[14]	Reducción de CO ₂ , agua y combustibles fósiles	—	−25 Mt CO ₂ , −1 000 Mm ³ agua/año	Se logró una gran disminución en gases contaminantes y en el uso de agua y energía.
[23]	Rendimiento energético (HTL)	5% aceite − 19% TPA	39% aceite − 48% TPA	Se mejoró bastante la producción de energía y el aprovechamiento de los materiales.
[19]	Eficiencia de lavado con micro-nano burbujas	—	19%	Se redujo el uso de agua, detergente y energía en el lavado.
[28]	Reducción de emisiones globales de CO ₂	7.58 Mt/año	−22.3 Mt/año	Se bajaron mucho las emisiones de gases contaminantes al ambiente cada año.
[24]	Impacto ambiental total (poliéster reciclado)	100%	48%	Se redujo casi a la mitad la contaminación, el uso de energía y el consumo de agua.
[29]	Porcentaje de lana reciclada	5%	>80 %	Se logró reutilizar más del 80 % de la lana manteniendo su buena calidad.
[32]	Costo de producción de bioetanol	1.244 USD/L	0.447 USD/L	Se bajaron los costos de producción, haciendo el proceso más rentable.

Es importante destacar que, aunque los valores de eficiencia reportados son notables, existe heterogeneidad metodológica significativa entre los estudios. Los indicadores dependen de escalas experimentales (laboratorio vs. piloto), fronteras de sistema, composición del residuo, método de evaluación (LCA, ensayos directos) y unidad funcional. Por tanto, estos porcentajes no deben interpretarse como magnitudes directamente comparables entre tecnologías distintas, sino como evidencia ilustrativa de potencial ambiental bajo condiciones controladas.

También se observaron avances en la eficiencia energética y en la optimización de los procesos productivos. La licuefacción hidrotermal (HTL) aumentó la recuperación de aceite y ácido tereftálico hasta en un 48%, lo que demuestra

un mejor aprovechamiento de los residuos textiles [23]. Por otro lado, el uso de micro-nano burbujas en el lavado permitió reducir el consumo de agua, detergente y energía en un 19 %, manteniendo la calidad de las prendas [19]. A nivel general, varias investigaciones reportaron reducciones de hasta 22 millones de toneladas de CO₂ al año gracias a una mejor gestión de los residuos [28], mientras que el poliéster reciclado logró disminuir el impacto ambiental total en un 48%, consumiendo menos energía y agua [24]. Además, en la Tabla V se detallan los impactos ambientales reportados por los estudios.

TABLA V
 INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL

Categoría de impacto	Resultados destacados	Nº de fuente
Reducción de emisiones de CO ₂	Disminución entre 25% y 22.3% de CO ₂ al año.	[14], [24], [28]
Ahorro de agua	Reducción del 14–33 % del consumo hídrico.	[6], [19], [22], [24]
Eficiencia energética	Ahorro del 46–60 % en energía y combustibles fósiles.	[14], [23], [24]
Incremento del reciclaje textil	Del 1 % al 26–30 % según proyecciones.	[13], [18], [33]
Rendimiento del producto	Mejora del color, calidad térmica y durabilidad de fibras.	[12], [21], [34], [35]
Beneficio económico	Costos reducidos de 1.244 a 0.447 USD en biocombustibles.	[32]
Circularidad del sistema	Reducción del impacto total en 48–52 %.	[16], [24], [36]

Por último, respecto al componente C (Contexto), la Tabla VI muestra que las soluciones sostenibles se han aplicado principalmente en empresas grandes y medianas del sector textil, centradas en áreas como la producción industrial, el tratamiento de efluentes y la gestión o reciclaje de residuos. En las compañías de mayor tamaño, estas acciones se desarrollaron en la fabricación de tejidos, prendas de vestir y productos para el hogar, donde se incorporaron tecnologías de reciclaje, recuperación de fibras y optimización del teñido, logrando avances en la reducción del consumo de agua y energía [12], [27], [28].

TABLA VI
 CONTEXTO DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS

Tamaño de empresa	Área de intervención	Producción o aplicación principal	Nº de fuente	Enfoque hacia el reciclaje
Grande	Producción textil industrial	Tejidos, prendas de vestir, textiles para el hogar, ropa de cama.	[12], [14], [24], [27], [28], [30], [33], [37]	Son las que más aplican soluciones sostenibles, principalmente en reciclaje, recuperación de fibras y

				procesos de teñido eficiente.
	Gestión y valorización de residuos textiles	Algodón, poliéster y mezclas sintéticas.	[14], [28], [29], [35]	Implementan proyectos de economía circular y reducción de residuos sólidos.
Mediana	Tratamiento de efluentes y reutilización de residuos	Materiales de aislamiento térmico, tejidos de algodón, prendas de vestir.	[6], [19], [21], [23], [26]	Se centran en el manejo de aguas residuales y en el aprovechamiento de residuos textiles.
No específica	Reciclaje textil y economía circular	Celulosa bacteriana, fibras regeneradas, textiles sostenibles.	[15], [16], [18], [25], [32], [38]	Estudios sin categoría empresarial definida, pero con potencial de aplicación en distintos niveles industriales.

Es decir, las empresas grandes son las que concentran la mayor cantidad de aplicaciones sostenibles, especialmente en la producción y el reciclaje textil, debido a su capacidad tecnológica e infraestructura. Las empresas medianas también han logrado avances importantes, principalmente en el tratamiento de efluentes y la reutilización de materiales, mientras que algunos estudios sin categoría empresarial definida muestran resultados experimentales con alto potencial de aplicación.

IV. DISCUSIÓN

Para responder la pregunta general sobre el impacto de las soluciones sostenibles para lograr procesos limpios dentro de la industria textil, el análisis del conjunto de treinta y dos artículos incluidos muestra que las estrategias basadas en reciclaje textil, recuperación de fibras y celulosa, bioprocesos, uso de energías renovables y valorización de residuos agrícolas contribuyen de manera positiva a disminuir la carga contaminante y a optimizar el uso de recursos como agua y energía [6], [14], [17], [23], [24], [27], [28]. Sin embargo, esta interpretación se encuentra condicionada por limitaciones propias de la revisión, como la dependencia de una sola base de datos, la predominancia de estudios experimentales o en fase piloto y la limitada especificación del tipo de empresa en varios artículos, lo que reduce la posibilidad de extrapolar estos aportes a todo el sector; aun así, el conjunto de evidencia

permite comprender de forma consistente cómo estas tecnologías apoyan la transición hacia procesos más limpios en la industria textil.

En cuanto a la manera en que se describe la contaminación en la industria textil en relación con la (RQ1), los artículos incluidos resaltan principalmente la acumulación de residuos sólidos como el impacto más recurrente del sector [14], [15], [16]. No obstante, diversas investigaciones señalan que el uso intensivo de agua, la presencia de colorantes y sustancias tóxicas en efluentes y la emisión de gases de efecto invernadero constituyen problemas ambientales de magnitud similar o incluso mayor [1], [2], [3], [5]. Esta perspectiva más amplia muestra que los estudios seleccionados capturan solo una parte de la complejidad del impacto textil, ya que tienden a focalizarse en los residuos posconsumo mientras que investigaciones previas enfatizan con fuerza la contaminación hídrica asociada al teñido y acabado y la contribución del sector a las emisiones globales de gases de efecto invernadero [1], [4].

En relación con las soluciones sostenibles analizadas en la (RQ2), se observa que la mayoría de los estudios se concentran en tratamientos correctivos, tales como procesos termoquímicos, adsorción o recuperación de materiales [17], [19], [23], [27], lo que responde directamente a los impactos identificados en el conjunto de artículos. Sin embargo, existen planteamientos que proponen enfoques más preventivos, como el uso de fibras recicladas desde etapas tempranas de la producción, la integración de energías renovables y el ecodiseño de prendas [4], [5], [6]. Mientras estos enfoques sugieren transformaciones estructurales orientadas a modificar el modelo productivo, el corpus analizado se orienta mayoritariamente a intervenir los residuos ya generados, lo que evidencia una distancia entre las propuestas de largo alcance planteadas en la literatura y las prácticas desarrolladas en estudios recientes. Asimismo, aunque se reconoce la importancia de la trazabilidad digital y la transparencia en cadenas de suministro complejas [1], [8], [9], los artículos del conjunto muestran un avance más lento en este tipo de tecnologías, lo que limita la capacidad para supervisar impactos ambientales de manera integral.

Respecto a los efectos observados tras la implementación de estas soluciones en relación con la (RQ3), los valores de eficiencia reportados en estudios experimentales suelen ser muy elevados, como remociones de colorantes superiores al noventa por ciento, reducción notable del consumo hídrico y energético y disminuciones significativas en emisiones de dióxido de carbono [6], [14], [17], [23], [24], [27], [28]. Estos comportamientos coinciden con análisis previos que demuestran cómo la sustitución de insumos convencionales por alternativas sostenibles y el reciclaje de materiales pueden reducir el impacto ambiental de productos textiles a lo largo de su ciclo de vida [1], [5]. Sin embargo, dichas eficiencias no siempre son representativas de la operación industrial, pues estudios sobre cadenas globales de suministro destacan que factores como variabilidad de insumos, escalas productivas, condiciones económicas y requerimientos de calidad pueden

modificar sustancialmente el desempeño de estas tecnologías en entornos reales [1], [8], [9]. Esto señala un vacío importante en la literatura reciente y la necesidad de validar estas innovaciones en escenarios industriales, donde las condiciones operativas son más complejas. Esta variabilidad es común en revisiones de ingeniería ambiental textil y subraya la necesidad de estudios comparativos estandarizados con fronteras de sistema equivalentes.

Respecto al tipo de empresa y área de aplicación señalado en la (RQ4), los estudios muestran que las empresas grandes concentran la adopción de las tecnologías más avanzadas y de mayor costo, como el reciclaje especializado, la recuperación de fibras y la optimización del teñido [12], [14], [24], [27], [28], [30], [33], [36], mientras que las empresas medianas se enfocan principalmente en el tratamiento de efluentes y la reutilización de residuos [6], [19], [21], [23], [26]. Esta distribución refleja la misma desigualdad estructural descrita en investigaciones sobre cadenas globales del sector, donde la disponibilidad de infraestructura tecnológica, regulación ambiental y recursos económicos determina la capacidad de las organizaciones para adoptar prácticas sostenibles [1], [7], [8], [9].

Además, en cuanto a la viabilidad económica de estas soluciones, los estudios analizados ofrecen indicadores prometedores aunque aún incipientes. Por ejemplo, la producción de bioetanol a partir de residuos textiles redujo el costo de 1,244 a 0,447 USD/L [32], y el poliéster reciclado disminuyó el impacto ambiental total en un 48% con menores costos energéticos [24]. Sin embargo, los altos costos iniciales de infraestructura, la necesidad de inversión en tecnologías de escala industrial y la falta de incentivos fiscales siguen constituyendo la principal barrera para su adopción masiva en medianas y pequeñas empresas. En este contexto, las alianzas público-privadas y los mecanismos de financiamiento verde resultan imprescindibles para cerrar la brecha entre la innovación científica y la implementación real en la región.

A partir del análisis realizado, surgen diversas líneas de investigación futura. Se requiere ampliar los estudios que evalúan estas tecnologías en contextos industriales reales, desarrollar comparaciones entre distintas alternativas sostenibles mediante metodologías equivalentes como el análisis de ciclo de vida, fortalecer la incorporación de herramientas digitales de monitoreo y trazabilidad para mejorar la transparencia ambiental y promover investigaciones que incluyan pequeñas y medianas empresas, donde las barreras de acceso a las soluciones sostenibles siguen siendo más evidentes. Estas direcciones permitirían una comprensión más completa del impacto de las soluciones sostenibles en toda la cadena de valor textil y favorecerían transiciones más equitativas hacia modelos productivos limpios.

Finalmente, la presente revisión sistemática presenta limitaciones inherentes a su diseño metodológico. En primer lugar, la búsqueda se limitó a la base Scopus y al idioma inglés; aunque esta decisión garantiza calidad y consistencia, puede subrepresentar literatura regional de países productores

textiles (como Latinoamérica y Asia) o estudios publicados en otras bases como Web of Science o SciELO. En segundo lugar, se excluyeron estudios basados exclusivamente en simulaciones, modelamientos o LCA prospectivos sin validación real; si bien esto fortalece el enfoque en evidencia aplicada, reduce la visibilidad de tecnologías emergentes en fase temprana. Por último, la amplitud inicial de la ecuación de búsqueda (típica en temas transversales) generó un alto volumen de registros, resuelto mediante un cribado exhaustivo.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, la RSL permitió reconocer que los principales problemas ambientales de la industria textil están vinculados a la contaminación sólida y a los residuos generados antes y después del consumo, seguidos por los vertidos hídricos con colorantes y sustancias tóxicas, y en menor medida por las emisiones atmosféricas derivadas del uso intensivo de energía. Estas afectaciones se originan, en gran parte, por la producción masiva asociada al *fast fashion*, el predominio de materiales vírgenes no reciclables y la limitada infraestructura de reciclaje, lo que confirma que los residuos textiles y químicos siguen siendo los principales responsables de los desequilibrios ambientales del sector. El análisis bibliométrico también evidenció un aumento notable del interés científico entre 2021 y 2025, siendo este último el año con mayor número de publicaciones, con Turquía y Estados Unidos como países líderes en producción académica, especialmente en estudios de carácter experimental.

En cuanto a las intervenciones, las soluciones sostenibles más destacadas fueron el reciclaje textil, la recuperación de celulosa, el uso de bioprocesos, los colorantes naturales y la valorización de residuos agrícolas. Estas alternativas demostraron altos niveles de eficiencia, como remociones de tintes superiores al 97 %, recuperaciones químicas de celulosa del 97% y reducciones del impacto ambiental cercanas al 48%. Aunque también se reportaron avances en eficiencia energética, ahorro de agua y disminución de emisiones de CO₂, la mayoría de estas tecnologías se validaron únicamente en fases de laboratorio o simulación. Las aplicaciones reales se concentraron en iniciativas como el Green Supply Chain Management y los sistemas de trazabilidad. En este sentido, las tecnologías digitales aparecieron con menor frecuencia, pese a su relevancia para enfrentar problemas estructurales como la baja trazabilidad en la cadena de suministro textil.

Finalmente, el contexto de aplicación mostró que las empresas grandes concentran la mayor parte de las implementaciones, sobre todo en procesos productivos y reciclaje textil, mientras que las medianas se enfocan en el tratamiento de efluentes y la reutilización de residuos. En conjunto, los hallazgos reflejan un avance significativo hacia la sostenibilidad, aunque persiste una desconexión entre las causas estructurales del problema y las soluciones aplicadas, lo que limita su impacto real. Estos hallazgos no sólo consolidan evidencia científica para la transición hacia una

economía circular, sino que también resaltan la necesidad urgente de alianzas regionales que integren innovación tecnológica, políticas públicas y financiamiento para superar las barreras económicas en los países de las Américas. Para futuras investigaciones se sugiere realizar estudios comparativos entre tecnologías sostenibles bajo condiciones similares, ampliar la validación en entornos industriales y promover el uso de herramientas digitales de trazabilidad — incluyendo inteligencia artificial para monitoreo en tiempo real— que permitan integrar de manera más efectiva la economía circular en toda la cadena de valor textil.

REFERENCIAS

- [1] F. Fois *et al.*, “Environmental impacts of cotton and polyester textile management strategies: Comparison of separate collection for reusing and textile waste recycling,” *Environ Impact Assess Rev*, vol. 116, Jan. 2026, doi: 10.1016/J.EIAR.2025.108088.
- [2] L. Yamuza-Blanco, F. Monsalve Serrano, R. Román-Collado, and M. T. Sanz-Díaz, “What is behind the producer GHG emissions footprint of textile and clothing in the EU-27? An environmentally extended multi-regional input-output analysis,” *Ecological Economics*, vol. 237, Nov. 2025, doi: 10.1016/J.ECOLECON.2025.108697.
- [3] V. K. Parida, N. Singh, M. Priyadarshini, P. Kumari, D. Datta, and A. Tambi, “Insights into the synthetic dye contamination in textile wastewater: Impacts on aquatic ecosystems and human health, and eco-friendly remediation strategies for environmental sustainability,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.IJEC.2025.04.019.
- [4] H. Ibrahim, M. H. Malik, A. Fraz, and I. A. Khan, “From Waste to Weave: Recycling Industrial and Consumer Cotton Waste for Sustainable and Cost-Effective Terry Fabric Production,” *Tekstilec*, vol. 68, no. 1, pp. 42–56, Mar. 2025, doi: 10.14502/TEKSTILEC.68.2024103.
- [5] Z. Wu, W. Xu, X. Wu, and X. Ding, “Life cycle environmental and economic assessment of raw silk production in China,” *Sustain Prod Consum*, vol. 55, pp. 11–23, May 2025, doi: 10.1016/J.SPC.2025.02.002.
- [6] A. Fatima, F. U. Khan, M. Hussain, and R. N. Malik, “Sustainability assessment of home textiles made of recycled PET fibre using life cycle assessment and life cycle costing analyses,” *Science of the Total Environment*, vol. 982, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.SCIOTENV.2025.179652.
- [7] F. Ş. Fidan, E. K. Aydoğan, and N. Uzal, “Comprehensive analysis of social subcategories throughout life cycle assessment approach for the textile industry,” *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 30, no. 6, pp. 1464–1479, Jun. 2025, doi: 10.1007/S11367-024-02340-8.
- [8] R. O. Mensah, A. Frimpong, J. E. Bruce-Amartey, R. Acquaye, L. Lamptey, and D. Opoku, “A REVIEW OF THE SUSTAINABILITY STRATEGIES OF GHANA’S TEXTILE INDUSTRY THROUGH THE SOCIOLOGICAL THEORY OF CRIME,” *African Journal of Applied Research*, vol. 11, no. 2, pp. 339–366, Mar. 2025, doi: 10.26437/AJAR.V11I2.1040.
- [9] F. De Felice, M. Rehman, A. Petrillo, M. A. Ortiz Barrios, and I. Baffo, “Integrating IoT and circular economy in Textile supply chains: A closed-loop model for sustainable production using recycled PET and spent coffee grounds,” *J Clean Prod*, vol. 501, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2025.145277.
- [10] C. M. D. C. Santos, C. A. D. M. Pimenta, and M. R. C. Nobre, “Estrategia PICO para la construcción de la pregunta de investigación y la búsqueda de evidencias,” *Rev Lat Am Enfermagem*, vol. 15, no. 3, pp. 508–511, 2007, doi: 10.1590/S0104-11692007000300023.
- [11] S. Sánchez Serrano, I. Pedraza Navarro, and M. Donoso González, “¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico,” *Bordón: Revista de pedagogía*, ISSN-e 2340-6577, ISSN 0210-5934, Vol. 74, No 3, 2022, págs. 51-66, vol. 74, no. 3, pp. 51–66, 2022, doi: 10.13042/Bordon.2022.95090.
- [12] N. Amin, F. ur Rehman, S. Adeel, M. Ibrahim, and R. Mia, “Eco-Friendly Extraction and Utilization of Agro Crop Wastes Based Natural Dye for Textile Dyeing,” *Energy Sci Eng*, vol. 13, no. 3, pp. 1280–1291, Mar. 2025, doi: 10.1002/ESE3.2067;WGROU:STRING:PUBLICATION.
- [13] H. Alici *et al.*, “Analysis of Carbon Footprint Including Process-Level Calculation and Its Influencing Factors of Process for Low-Carbon and Sustainable Textile Industry,” *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 10168, vol. 16, no. 23, p. 10168, Nov. 2024, doi: 10.3390/SU162310168.
- [14] P. Yao *et al.*, “Balancing textile waste recovery technologies from the environmental, economic, and technological perspectives,” *Sustain Prod Consum*, vol. 56, pp. 447–459, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.spc.2025.04.011.
- [15] A. Lanot *et al.*, “Demonstrating a biobased concept for the production of sustainable bacterial cellulose from mixed textile, agricultural and municipal wastes,” *J Clean Prod*, vol. 486, p. 144418, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2024.144418.
- [16] F. Rubik *et al.*, “Textiles on the Path to Sustainability and Circularity—Results of Application Tests in the Business-to-Business Sector,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 14, p. 5954, Jul. 2024, doi: 10.3390/SU16145954/S1.
- [17] I. Beceiro-Cillero, J. Antelo, P. V. Verdes, F. Bento, and S. Fiol, “Compost-based sustainable treatment for simulated textile dye effluents: Evaluating adsorption capacity and phytotoxicity,” *J Environ Manage*, vol. 392, p. 126767, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2025.126767.
- [18] G. Sandin, M. Lidfeldt, and M. Nellström, “Exploring the Environmental Impact of Textile Recycling in Europe: A Consequential Life Cycle Assessment,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 5, Mar. 2025, doi: 10.3390/SU17051931/S1.
- [19] A. Zhou, Y. Zhao, X. Ding, X. Wu, and P. Li, “Eco-friendly textile cleaning: Micro-nano bubbles technology for enhanced efficiency and sustainability,” *Journal of the Textile Institute*, vol. 116, no. 9, pp. 2022–2030, 2025, doi: 10.1080/00405000.2024.2411184;CTYPE:STRING:JOURNAL.
- [20] K. Thomas *et al.*, “Fundamental Challenges and Opportunities for Textile Circularity,” *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 11117, vol. 16, no. 24, p. 11117, Dec. 2024, doi: 10.3390/SU162411117.
- [21] D. Li *et al.*, “Optimizing Sustainability in Textile Recycling: Life Cycle Assessment of Recycled Polyester Staple Fibers with a Focus on Carbon Emissions, Energy Efficiency, and Water Conservation,” *ASCE*, vol. 12, no. 47, pp. 17347–17356, Nov. 2024, doi: 10.1021/ACSSUSCHEMENG.4C07598.
- [22] Z. Seisenbayeva, G. Isatayeva, A. Mergenbayeva, Z. Kydyrova, and D. Kulanova, “A Systematic Review and Meta-Analysis of Studies on the Circular Economy in the Textile Industry,” *International Journal of Environmental Impacts*, vol. 8, no. 3, pp. 511–521, Jun. 2025, doi: 10.18280/IJEI.080309.
- [23] A. Matayeva, J. S. dos Passos, P. Straka, S. K. G. Skibsted, and P. Biller, “Chemical recycling of post-consumer textile waste via continuous hydrothermal liquefaction and hydrotreatment for simultaneous monomer and hydrocarbons production,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 508, p. 161108, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.CEJ.2025.161108.
- [24] M. Solis, D. Tonini, C. Scheutz, L. Napolano, F. Biganzoli, and D. Huygens, “Contribution of waste management to a sustainable textile sector,” *Waste Management*, vol. 189, pp. 389–400, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.WASMAN.2024.08.037.
- [25] M. Valtere, T. Bezrucko, V. Liberova, and D. Blumberga, “Recycling of Mixed Post-Consumer Textiles: Opportunities for

- Sustainable Product Development,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 29, no. 1, pp. 323–343, Jan. 2025, doi: 10.2478/RTUECT-2025-0023.
- [26] F. Charnley *et al.*, “Retaining product value in post-consumer textiles: How to scale a closed-loop system,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 205, p. 107542, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2024.107542.
- [27] H. Elkamel, Ş. Taşar, N. Duranay, and M. Yılgin, “Evaluation of textile industry wastes: Cellulose recovery from cotton/polyester blend shearing waste,” *Waste Management*, vol. 203, p. 114850, Jul. 2025, doi: 10.1016/J.WASMAN.2025.114850.
- [28] S. Karadayi-Usta, “Sustainable post-consumer textile waste management: Picture fuzzy set-based ORESTE approach,” *J Clean Prod*, vol. 482, p. 144231, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2024.144231.
- [29] A. Khurshid, K. Khan, S. Khan, and J. Cifuentes-Faura, “Achieving Sustainability Through Green Supply Chain Management: An Analysis In The Textile Industry,” *Sustainable Development*, vol. 32, no. 6, pp. 6819–6835, Dec. 2024, doi: 10.1002/SD.3061.
- [30] S. Baseri, “Environmentally sound recycling of agricultural waste: A sustainable approach to develop bio-functional art textile,” *J Environ Manage*, vol. 366, p. 121758, Aug. 2024, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2024.121758.
- [31] R. Hassan, F. Acerbi, S. Terzi, and P. Rosa, “Enabling the twin transition of the textile industry: A systematic literature review,” *Waste Management*, vol. 195, pp. 294–307, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.WASMAN.2025.02.025.
- [32] J. Egan, S. Wang, J. Shen, O. Baars, G. Moxley, and S. Salmon, “Enzymatic textile fiber separation for sustainable waste processing,” *Resources, Environment and Sustainability*, vol. 13, p. 100118, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.RESENV.2023.100118.
- [33] S. Abagnato, L. Rigamonti, and M. Grosso, “Life cycle assessment applications to reuse, recycling and circular practices for textiles: A review,” *Waste Management*, vol. 182, pp. 74–90, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.WASMAN.2024.04.016.
- [34] S. Karmakar, A. Majumdar, and B. S. Butola, “A sustainable recycling process and its life cycle assessment for valorising post-consumer textile materials for thermal insulation applications,” *Waste Manag Res*, vol. 43, no. 5, pp. 749–761, May 2025, doi: 10.1177/0734242X241270933.
- [35] R. Farahmandpour, K. Karimi, J. F. M. Denayer, and M. Shafiei, “Innovative biorefineries for cleaner waste textile management towards circular economy: Techno-economic analysis,” *J Clean Prod*, vol. 378, p. 134500, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.134500.
- [36] P. H. Teixeira, F. Alves, G. Bahr, A. R. Clarke-Sather, and M. A. Maurer-Jones, “Combining Flexible and Sustainable Design Principles for Evaluating Designs: Textile Recycling Application,” *J Manuf Sci Eng*, vol. 146, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.1115/1.4063993.
- [37] B. Mu, X. Yu, and Y. Yang, “Sustainable and green process for recycling waste wool textiles into high-quality protein fibers on a pilot scale,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 198, p. 107190, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2023.107190.