

Reverse Logistic strategies for a Sustainable Textile industry: A systematic review

Eillin Nicol Córdova Vega, B. Eng.¹, Francys Bryan Abanto Pérez, B. Eng.¹, Katheryne Nuñez Bardales, M. Eng., and Antony Bazan-Aguilar, M. Sc.¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Peru, U17302041@utp.edu.pe, U18300793@utp.edu.pe, knunez@utp.edu.pe, abazana@utp.edu.pe

Abstract: The high emission of solid waste in the textile industry and its impact on the environment have promoted the implementation of novel strategies to encourage the re-use of these scraps in the productive process (or reverse logistics). The present systematic literature review (SLR) reports and analyzes the main approaches of sustainable reverse logistics strategies for reinserting textile scrap in the manufacturing processes and its influence on the textile supply chain and the environment.

Keywords: Reverse logistics, supply chain, sustainable, textile industry, SLR

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

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

DO NOT REMOVE

Reverse Logistic strategies for a Sustainable Textile industry: A systematic review

Estrategias de logística inversa alienadas a la sostenibilidad en la industria textil sostenible: Una revisión sistemática

Eillin Nicol Córdova Vega, B. Eng.¹, Francys Bryan Abanto Pérez, B. Eng.¹, Katheryne Nuñez Bardales, M. Eng., and Antony Bazan-Aguilar, M. Sc.¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Peru, U17302041@utp.edu.pe, U18300793@utp.edu.pe, knunez@utp.edu.pe, abazana@utp.edu.pe

Abstract: *The high emission of solid waste in the textile industry and its impact on the environment have promoted the implementation of novel strategies to encourage the re-use of these scraps in the productive process (or reverse logistics). The present systematic literature review (SLR) reports and analyzes the main approaches of sustainable reverse logistics strategies for reinserting textile scrap in the manufacturing processes and its influence on the textile supply chain and the environment.*

Keywords: *Reverse logistics, supply chain, sustainable, textile industry, SLR*

Resumen – *La elevada emisión de residuos sólidos en el sector textil y el impacto que estos generan sobre el ambiente ha impulsado el desarrollo e implementación de estrategias que potencien la reutilización de estos desechos en la cadena de valor del proceso productivo textil (logística inversa). En este sentido, la presente revisión sistemática reporta y analiza los principales alcances de la logística inversa en la reinserción de la materia residual textil y en la sostenibilidad de la cadena de suministro textil y su impacto ambiental.*

Palabras clave—*Logística inversa, cadena de suministro, sostenibilidad, industria textil, RSL*

I. INTRODUCCIÓN

La cadena productiva en la industria textil genera un gran impacto ambiental por ej., sus procesos emiten un 10% del total de las emisiones del CO₂ a nivel global, el 85% de los productos finales no son reciclados, y se vierten al océano alrededor de 21 mil millones de toneladas al año [1]. Asimismo, se estima que la Unión Europea arroja 5,8 millones de toneladas de residuos textiles al año, de los cuales, menos del 1% son reutilizados en la fabricación de nuevos productos. Además, los desechos a base de microplástico proveniente de las fibras sintéticas que conforman los desechos textiles representan del 16 - 35% de estos contaminantes acuíferos [2], [3].

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

En este sentido, las organizaciones de la industria textil resaltan la importancia de la sostenibilidad en cadena de producción y de abastecimiento, con la finalidad de generar un valor agregado en el desarrollo de prácticas de responsabilidad ambiental [4]. Entre los diversos enfoques, la ejecución y el crecimiento de la logística inversa en la cadena de valor se remarca como un instrumento esencial en el avance de la sostenibilidad en una empresa.

Potenciar la logística inversa de la cadena de suministro facilita la recolección de los residuos sólidos, la reducción de los excesos de inventarios, y la actualización de equipos obsoletos. Esta gestión sostenible de recursos se adapta a las necesidades del sector organizacional reduciendo los costos del área productiva, generando y fomentando la responsabilidad ambiental entre la empresa y el cliente [2], [4]. Además, se enfatiza la importancia de englobar la cadena de valor textil con un enfoque sostenible y circular con la finalidad de afianzar un menor impacto negativo ambiental [5]. En la presente investigación se examina y contrasta el impacto generado por las estrategias de logística inversa en la gestión de residuos sólidos provenientes de la industria textil.

II. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

A. Recopilación bibliográfica

La revisión sistemática de la literatura [6]–[8] es ejecutada en cinco fases, las cuales son descritas (Figura 1):

Fase 1: Definir el problema de investigación asociado a la baja sostenibilidad ambiental del proceso textil a causa del gran número de agentes contaminantes por ej., residuos sólidos; y analizar las principales estrategias de la logística inversa para potenciar las prácticas sostenibles y la reducción de la contaminación.

Fase 2: Determinar las palabras claves (o parámetros de búsqueda) a partir de la pregunta general de investigación y aplicando el método PICOC (Tabla I).

Brevemente, se considera la siguiente pregunta de investigación general ¿Cuál es el impacto de las estrategias de logística inversa en la sostenibilidad de la industria textil?

Además, se plantean cuatro preguntas orientadoras las cuales son:

- ¿Cuál es el nivel de contaminación de residuos sólidos generados por la industria textil?
- ¿Cómo se desarrolla la logística inversa en el control de residuos sólidos?
- ¿Qué acciones promueven la sostenibilidad e innovación en el proceso productivo textil?
- ¿Qué estrategias y/o actividades de la logística inversa impulsan la economía circular?

TABLA I
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PICOC

P	Población	Residuos sólidos	<i>Solid waste</i>
I	Intervención	Logística inversa	<i>Reverse logistics, circular economy, sustainable fashion</i>
C	Comparación	Sin comparación	---
O	Resultados	Gestión eficiente de residuos sólidos	<i>Optimal waste management</i>
C	Contexto	Industria textil	<i>Textile industry</i>

En base a los parámetros de búsqueda planteados se construye la siguiente ecuación de búsqueda: ("*Solid waste*") AND ("*Reverse logistics*" OR "*Reverse supply chains*") AND ("*Sustainability*" OR "*Circular Economy*" OR "*Sustainable fashion*") AND ("*Textile industry*"); que será aplicada en bases bibliográficas de interés por ej., *Scopus*, *ScienceDirect* y *GoogleScholar*.

Fase 3: Recopilar y evaluar la pertinencia de las fuentes bibliográficas mediante su cribado al aplicar diversos criterios de inclusión y exclusión, y su representación un diagrama de flujo PRISMA (Figura 2) [9], [10].

Fase 4: Revisar y analizar las referencias bibliográficas seleccionadas, con la finalidad de extraer y discutir los resultados publicados.

Fase 5: Discutir los principales alcances encontrados en la bibliografía seleccionada. Elaborar una síntesis de la información recolectada.

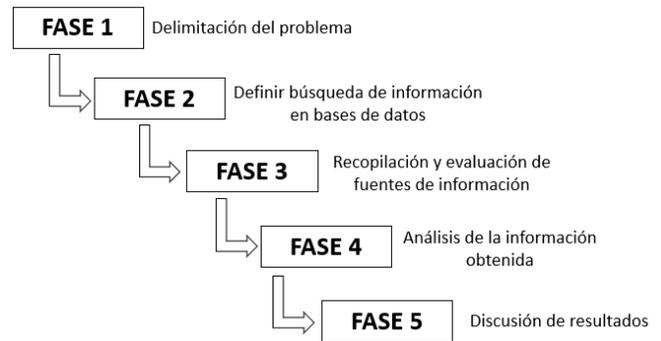


Fig. 1: Fases ejecutadas en la revisión sistemática.

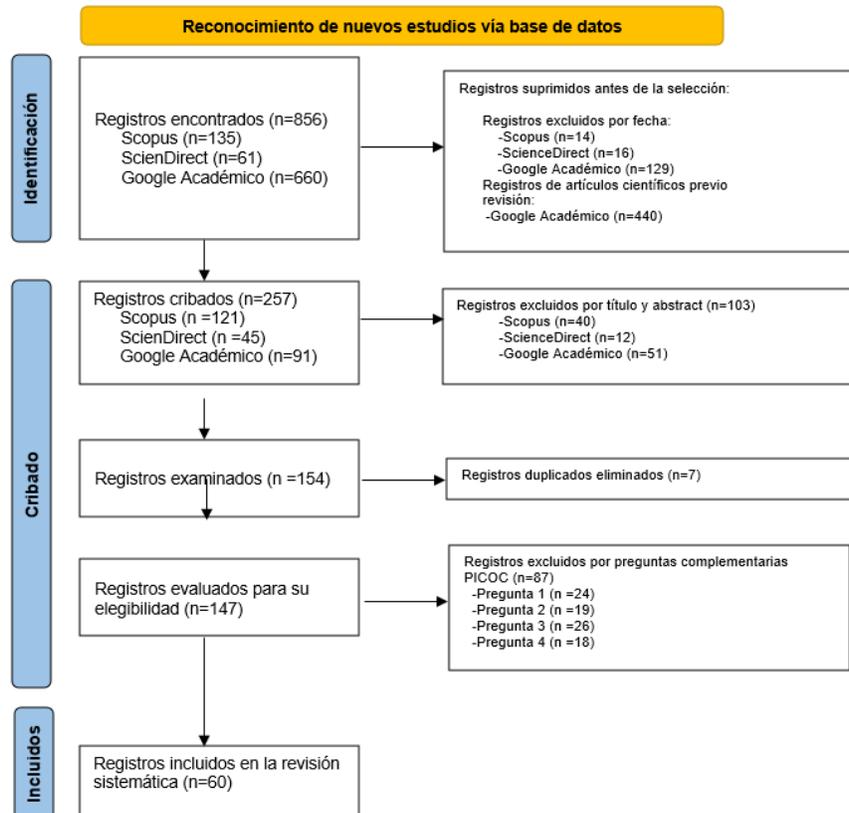


Fig. 2: Fases ejecutadas en la revisión sistemática.

El diagrama PRISMA recopila el proceso de búsqueda y selección de la literatura utilizada en la revisión sistemática. Los documentos revisados provienen de tres bases bibliográficas (*Scopus*, *ScienceDirect* y *Google Scholar*). El bruto de número de documentos obtenidos es igual a 856, los cuales se reducen a 257 documentos tras sesgar el periodo de búsqueda a los últimos 5 años. Seguidamente, se evalúa la relevancia y correlación del contenido de los artículos de investigación con el objeto de estudio planteado. En esta etapa se aplican criterios de inclusión/exclusión para cribar los documentos recopilados. Finalmente, se incluye un total de 60 artículos de investigación a presente revisión sistemática.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Residuos sólidos en la industria textil

Los desechos sólidos originados de la industria textil son producto de múltiples procesos de fabricación y consumo, los cuales pueden ser clasificados según su origen y composición. Por ejemplo, en el proceso de fabricación de tejidos y prendas de vestir se generan recortes de tela, hilos sobrantes, desechos de telares y remanentes de las máquinas de coser. Por otra parte, se debe remarcar la generación de efluentes textiles compuestos por colorantes, suavizantes, blanqueadores y fijadores.

En este sentido, la gestión de los residuos sólidos es fundamental para mejorar la marca y las estadísticas ambientales de la industria textil. Un claro ejemplo es la implementación de modelos circulares de logística que optimicen la renovación y el reciclaje de los productos [11]. Asimismo, la conducción adecuada de residuos textiles, la reutilización de prendas, el reciclaje de materiales y la adopción de tecnologías eficientes en recursos; promueven la reducción de residuos y el ahorro periódico de materiales en la industria [11], [12]. Por ejemplo, la implementación de cadenas de suministro circulares, el desarrollo conceptual de nuevas prácticas atribuidas a un cambio ambiental significativo y la eliminación correcta de desechos peligrosos tienen como objetivo promover la sostenibilidad ambiental y reducir la huella de carbono en el sector. Además, estas estrategias plantean la automatización, la reutilización y el reciclaje de productos textiles haciendo que sea un hábito para los consumidores, con el objetivo de atenuar el efecto ambiental que presenta el sector textil. De igual manera se destaca la importancia de promover prácticas sostenibles alineados a la economía circular [13], [14], [15].

En relación con este punto, el implementar modelos de negocio circulares que fomenten la durabilidad, resistencia de los productos, ideas creativas, aprovechamiento de recursos y la transformación de residuos en productos útiles, permite crear un flujograma continuo de producción que mejora la disposición de las materias primas y su reutilización [12]. Diversos reportes indican que la industria enfrenta importantes desafíos en cuanto a la administración de los residuos sólidos, ya que existe una carencia y falta de instalaciones apropiadas.

Por lo cual, se enfatiza el requerimiento de mejorar las prácticas de la gestión de desperdicios en la cadena de suministro textil, desarrollar la logística inversa inteligente, y promover la concientización pública en el sector [16], [17]. Un claro ejemplo es la implementación del enfoque *multi-criteria decision making* (MCDM) para la toma de decisiones en las actividades de la cadena de suministros textil, a fin de identificar oportunidades de mejora que contribuyan a la eficiencia y rentabilidad de la logística inversa [16].

B. Logística inversa sostenible en la industria textil

Este enfoque se centra en la recuperación de bienes o productos devueltos por el cliente final a la organización, de esa forma se busca restaurar todos los residuos peligrosos, envases, productos deficientes, entre otros., al proceso productivo. El término “inversa” se desarrolla a partir de los periodos de vida que atraviesa un producto, dicho de otra manera, desde el viaje del producto a partir de los consumidores hacia los fabricantes para poder volver a reusar el material de retroceso [2], [18]. Las causas más importantes del desarrollo de la logística inversa son el exceso de inventarios en el almacén, lo cual genera retornos de materia prima, mercancías defectuosas, estacionalidad de un producto, retorno de productos por clientes, entre otros [2], [4], [18], [19].

La planificación de la logística inversa genera un gran valor corporativo y la perspectiva de minimizar los impactos ambientales, así como, de aumentar los beneficios económicos de las organizaciones en base al desarrollo de la sostenibilidad empresarial [20], [21]. En relación con los hitos de recuperación de residuos se detecta un notable interés comprobable en el desarrollo sostenible del sector textil [22]–[24]. Asimismo, el diseño y la implementación de nuevos sistemas de circuito cerrado optimiza la cadena de suministro inversa y genera un progreso significativo en la reducción de desechos textiles y de la huella de carbono del proceso productivo [2], [17], [25]–[27]. Por su parte, la inclusión de un enfoque basado en los principios de la economía circular impulsa la implementación de nuevos procesos sostenibles en el diseño, producción y gestión de residuos textiles.

Asociado a lo último, la logística inversa eco-amigable en la industria textil ha experimentado un progreso notable [28]. Diversos estudios analizan los desafíos y las oportunidades relacionados con un enfoque sostenible en la logística inversa mediante la integración de la gestión de residuos, la adopción de prácticas responsables y la inclusión de capital humano, como por ej., compañías, entidades sin fines de lucro y de gobierno que impulsen la transformación de la logística textil [16], [29]. En los diversos reportes, se enuncia que conocer y distinguir oportunidades de mejora de la cadena de suministro seguido a la etapa de mercadeo afianza el desarrollo de cadena de valor [29]. Además, se destaca la importancia de identificar y abordar las barreras que obstaculizan la implementación sostenible en base a los pasos y prioridades de la logística

inversa [30]. El análisis detallado de los obstáculos permite desarrollar estrategias efectivas con el fin de estimular, expandir y promocionar la incorporación de enfoques sustentables en el ámbito textil.

Se analiza también otro aspecto que explora las oportunidades y retos que surgen en el lapso de implementación de las nuevas tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en los procesos de la logística inversa, tales como, el uso de inteligencia artificial, la implementación de sistemas de realidad aumentada y la introducción de tecnologías de seguimiento avanzadas. Estas soluciones tecnológicas pueden mejorar y aportar en los controles de nuevos indicadores de la eficiencia y la trazabilidad de los procesos logísticos, lo que a su vez contribuye y proporciona más información documentaria a la sostenibilidad ambiental y la evolución de los indicadores de la logística inversa con un enfoque sostenible en la industria textil se destaca la importancia de considerar criterios específicos en el diseño de sistemas de logística inversa en el sector textil. Tales como, la eficiencia, la rentabilidad y el impacto ambiental. Se señala la necesidad de optimizar sistemas y buscar la eficiencia, garantizando la entrega oportuna de productos reciclados y minimizando los costos asociados [19], [25], [26]. Asimismo, se profundiza en la importancia de evaluar el impacto ambiental de estas todos los procesos de prácticas sostenibles, buscando reducir las emisiones de carbono y minimizar los residuos generados en todos los campos que pueden ser objeto de aplicación de cambio. Otra medida importante es la integración y proyección de la gestión de productos en la industria textil ayudando al modelo a transitar a modelos más solidario.

De igual manera, se destaca la necesidad de implementar la responsabilidad del producto, lo cual, implica el identificar la responsabilidad ambiental de los fabricantes y distribuidores, con el objetivo que cada entidad optimice la gestión de residuos y registre las fases de la vida útil de cada producto, incluyendo su recolección, reciclaje y disposición final. Esta medida busca fomentar una cultura de producción más sostenible y promover la economía circular en el sector [28]. Por ejemplo, se reconoce la importancia de implementar y/o mejorar los sistemas de reciclaje en China para los residuos textiles posconsumo [32].

Otra necesidad clave es el desarrollo de marcos sostenibles para la producción textil, tales como, la optimización energética, la reducción de emisiones y la minimización de residuos en la totalidad de etapas del proceso de producción [33]. Por último, se destaca la necesidad de promover enfoques circulares en la industria textil [23], [34], [35], y adoptar estrategias como la reutilización, el reciclaje y disminuir el gasto desmedido de recursos y desdeñar los residuos textiles [36]. Por lo cual, repensar los modelos de negocio tradicionales implica fomentar que los agentes exploren la cadena de suministro textil para encontrar oportunidades de proveer valor agregado a las ideas y

contribuir con la cooperación científica y la transferencia tecnológica en el diseño de nuevos materiales y productos.

Esta tendencia es una señal de que la industria textil está tomando responsabilidad por su pasado y se está comprometiendo a repensar el ciclo y la vida de cada uno de los productos. La logística inversa es un puente que conecta el fin y la disposición final de algún material con nuevas oportunidades acudiendo a la reutilización, reciclaje y reducción de residuos. Los diversos reportes incluyen ideas innovadoras, desde estrategias logísticas ingeniosas hasta tecnologías avanzadas, así como, soluciones prácticas para los desafíos medioambientales a los que nos enfrentamos.

C. Estrategias de la logística inversa para el manejo de los residuos sólidos de la industria textil

En esta sección se exploran nuevas perspectivas de desarrollo sostenible en la logística inversa del sector textil. El enfoque clave es cerrar el lapso de vida de las confecciones textiles y reducir la reproducción de desechos sólidos [15], [37], [38]. Un marco de toma de decisiones estratégicas para operaciones de logística inversa sostenibles proporciona una estructura para evaluar las opciones disponibles, con mayor eficiencia y seleccionar las estrategias más adecuadas replicando su procedimiento y adecuándolo al sector textil [39]. Santos y De Souza Campos (2021) indican que fortalecer las prácticas de administración de residuos en la ejecución de una economía circular que logre fomentar la innovación en el reciclaje al promover el desarrollo de prácticas comerciales sostenibles, la investigación de tecnologías de vanguardia aplicadas a los procesos cambiantes de la moda [40]. Además, se encontró que las soluciones de desarrollo pueden tener un gran impacto en la ingeniería moderna, creando oportunidades para aumentar la eficiencia, precisión y procesos respecto a su calidad [18].

La observación de las estrategias de logística inversa para el empleo y limitación de sus contaminantes sólidos en la industria textil está estrechamente vinculado a la innovación en la sostenibilidad. A través de la ejecución de procedimientos de la logística inversa, adopción de marcos, fijar de decisiones estratégicas y el uso de indicadores de rendimiento específicos, se pueden abordar de manera efectiva los desafíos asociados con la gestión de residuos textiles y promover un enfoque más sostenible en la industria textil [4], [18]. Al mismo tiempo, la innovación en la sostenibilidad impulsa el progreso de la logística inversa, facilitando la adopción de enfoques más eficientes, tecnologías innovadoras y prácticas más responsables. Este análisis conjunto permite avanzar hacia un sector textil más circular, reduciendo la reproducción de los residuos sólidos, promoviendo e impulsando creatividad y emprendimiento social.

Al integrar los cuadros de innovación los reportes nos muestran un diversificado enfoque en todos los pasos que conlleva un proceso logístico inverso incluyendo un modelo sostenible con prácticas amigables a los nuevos estándares establecidos para conservar un y centrar la "colaboración en

prácticas sostenibles", impulsando la cooperación entre actores del sector para abordar los desafíos medioambientales de manera conjunta [1], [3], [18].

Además, se destaca la importancia de la "circularidad del diseño sostenible", maximizando la eficiencia y minimizando los residuos en las etapas que refiere a completar el proceso de diseño textil. Se enfatizan los "nuevos beneficios ambientales", buscando mejoras adicionales generadas por la formulación de puesta en marcha en la logística inversa. La "iniciativa de mejora de procesos" busca optimizar la eficiencia y la relación sostenible en la cadena de suministro textil mediante enfoques innovadores. También se resalta la necesidad de desarrollar "estrategias de operaciones de la metodología logística inversa" sólidas hacia una gestión eficiente de los residuos y promoción de la reutilización [32], [41], [42].

Finalmente, se subraya y se enfatiza la importancia de la "innovación de gestión de residuos" para abordar eficazmente el manejo y aprovechamiento de los residuos textiles que pueden generar e iniciar un nuevo ciclo de reutilización. En conjunto, estos enfoques reflejan un compromiso firme con la ayuda para lograr sostenibilidad y la responsabilidad que toda industria debería tomar para mejorar el ámbito ambiental en la logística inversa de todos los eslabones de los procesos del sector textil.

D. Prácticas sostenibles en la cadena de suministro

La cadena de suministro del sector textil reporta avances significativos en la ejecución de acciones sostenibles [31], [43]. La adopción de tecnologías verdes en diversas etapas de la cadena, como el uso de maquinaria más eficiente energéticamente y la incorporación de energías verdes en la cadena de producción son algunas de las prácticas actuales [44], [45]. Además, se implementan estrategias de la economía circular que incluyen la administración de residuos mediante el reciclaje de materiales y la reutilización e innovación de productos.

En relación con la logística inversa, se destaca la inclusión de sistemas de retorno de productos para su reacondicionamiento, remanufactura o reciclaje [46]–[48]. Esto implica recolectar y categorizar los desechos textiles para su inserción en la línea de producción, además de promover la acción participativa de los involucrados en la cadena de suministro. Estas estrategias promueven el diseño y actualización constante del *know-how* y de las actividades alineadas al control de recursos con una visión sostenible y de diversificación de la información [41], [42]. Esto implica considerar criterios de sostenibilidad desde las etapas iniciales del diseño de productos, incluyendo la selección de materiales eco-amigables, la optimización de recursos y la reducción del impacto ambiental con relación a los indicadores ya mencionados.

Estos avances en la cadena de suministro textil demuestran un compromiso creciente hacia la sostenibilidad. Sin embargo, aún existen desafíos por superar, como la implementación generalizada de tratar de conectar y tener el alcance a la mano en todas las empresas y la necesidad de una mayor comunicación y traspasar información entre rubros similares y que entre los actores de la cadena, mediante acogerse a nuevas tecnologías más eficientes y renovables reduciendo impactos, la suscitación de la economía circular y fortalecimiento de la colaboración se podrá avanzar hacia una cadena de suministro colaborativa [42], [48], [49].



Fig. 3: Prácticas sostenibles en la cadena de suministro.

Entre las tendencias destacadas está el enfoque en el "diseño para el reciclaje" [2]. Esta práctica se basa en el desarrollo de prendas diseñadas específicamente para facilitar su desmontaje y posterior reciclaje en partes documentadas al final de su vida útil. Por lo tanto, los artesanos están adoptando accesorios y factores que pueden ser divididos y estudiados parte por parte con fluidez, evitando el uso de pegamentos o juntas que hacen que el reciclaje sea delicado y más difícil de procesar. Además, se están impulsando resultados innovadores, como el uso de marcadores y cierres divisibles, que simplifican el proceso de clasificación y reciclaje de prendas [22].

Por otro lado, se observa la tendencia de "reventa de prendas y reembolso". Si bien es positivo que se fomente un modelo de consumo participativo es importante abordar algunos desafíos que esta práctica presenta. Por ejemplo, la calidad de las prendas es el factor clave y el punto más crítico debido al desgaste y a los cortes, lo que puede afectar la experiencia del consumidor. Asimismo, es fundamental verificar que los procesos de limpieza y conservación de las prendas usadas sean rigurosos y revisados en base a calidad, para garantizar la higiene y la satisfacción final. Es necesario establecer normas claras y regulaciones adecuadas para mantener la calidad y la confianza en la reventa y el reembolso de prendas.

De igual manera, se destaca la importancia de la "logística de devolución efectiva" como una tendencia esencial que busca optimizar la operación de productos y desechos cuando su ciclo de vida sea finalizado. Esto implica hacer cumplir

sistemas logísticos de contingencia efectivos que permitan la recuperación y devolución de las prendas usadas en los puntos de recogida y son dispuestos finalmente a los fabricantes para su recuperación o ejercicio práctico de desecho seguro. Si bien es favorable el avance de ver un enfoque en esto, los desafíos logísticos y la estructura adecuada deben abordarse para garantizar un proceso fluido y efectivo. Es importante señalar la necesidad de mejorar la tecnología moderna y los procesos aprovechados en el reciclaje de prendas para asegurar una mejor eficacia y calidad en el producto de los nuevos accesorios estudiados con tecnología que o haga sustentable y funcional. Además, se deben aplicar estrategias para promover la adecuada recolección de prendas usadas por parte de los consumidores y asegurar los procedimientos de las estructuras para el reciclaje a gran escala.

Finalmente, es de suma importancia promover una educación con mentalidad sostenible en la población poniendo en práctica los valores de cada uno. Al abordar este aspecto, es necesario fortalecer y expandir los propósitos educativos en diferentes situaciones, desde aumentar la atención y el estudio del consumidor hasta capacitar a los diseñadores y fabricantes. De igual manera, es importante fomentar la transparencia y exposición de información sobre prácticas sostenibles en la actualidad para que todos se puedan acoger a los diseños más positivos y con mayor impacto de aceptación, para que los consumidores puedan emitir opiniones más informadas y conscientes al elegir productos de tela.

E. Logística inversa, Sostenibilidad e Innovación

Al examinar el panorama de la sostenibilidad corporativa en general, se identifican las contribuciones, barreras, innovaciones y futuras posibilidades. Este ayuda a reconocer las nuevas prácticas de aplicación, tales como, la adopción de materiales eco-amigables con disposición fácil y rápida en el cierre de su ciclo de vida, por ej., el incluir el uso de algodón orgánico o fibras recicladas [35], [50].

Asimismo, es relevante impulsar una administración consciente de los residuos producidos y con la misión de reducir, reciclar o reutilizar estos materiales en lugar de desecharlos. Por otra parte, los obstáculos que dificultan una transformación sostenible en la industria textil, es posible resaltar a las barreras financieras, la disponibilidad y la calidad de los materiales sostenibles, y falta de regulaciones claras y estándares uniformes en la industria. Además, la ausencia de estrategias de concientización por parte de los actores claves de la industria obstaculiza la adopción generalizada de prácticas sostenibles. La poca capacidad de adaptación al cambio y la falta de información y capacitación adecuada también pueden ser barreras importantes.

La complejidad de la cadena de suministro textil, que involucra a muchos actores en diferentes países, plantea otro desafío para la implementación de prácticas sostenibles.

Coordinar y trabajar juntos en distintos pasos y métodos de ejecución de toda la cadena de suministro, desde suministradores hasta fabricantes y minoristas, este reto de unión suele ser difícil y requiere la alineación de ambiciones y un compromiso compartido y unido con la sostenibilidad. En un contexto específico, la adopción de medidas sostenibles en la industria textil puede convertirse en una puerta de entrada a los mercados internacionales [20]. Otro aspecto importante es desglosar, identificar y mejorar cada una de las prácticas de gestión de residuos para que puedan tener un plan de orden y control.

La transparencia y la comunicación efectiva también son fundamentales para aprovechar las oportunidades en los mercados internacionales. Empresas con políticas de responsabilidad social y corporativa implementan prácticas de aplicación y divulgación de sus iniciativas sostenibles. Asimismo, estas entidades buscan la certificación de calidad y el reconocimiento internacional que respalde su compromiso con la sostenibilidad, como por ej., las certificaciones GOTS (*Global Organic Textile Standard*) o Öko-Tex Standard 100, aseguran el cumplimiento de estrictos de los estándares ambientales y sociales, lo que les otorga méritos para obtener ventajas muy competitivas en el mercado internacional motivando la competencia a los productos ya establecidos. Por ejemplo, las empresas de confección han dado los pasos correctos y oportunos en términos de gestión de residuos para la recoger y clasificar cada material al modelo que adopta la empresa. Esto incluye el desarrollo de procesos de reciclaje internos para convertir trapos y otros desechos textiles en nuevos productos, como hilados o telas recicladas [51]. En términos de eficiencia de recursos, las empresas textiles han tomado acción para reducir el consumo de sus materias primas y de aquellas materias secundarias que no pueden reutilizarse reduciendo de esta manera el nivel de emisiones de desechos textiles.

Desde una perspectiva global, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas han proporcionado más información para un marco de referencia para la estandarización para la automatización sostenible respecto a la cadena de suministro textil y las prendas de vestir [52]. De esta manera, se promueven acciones concretas para abordar los desafíos ambientales, sociales y económicos en toda la industria. Asimismo, la economía circular ofrece oportunidades de incrementar el uso, reutilización y recuperación y reinserción de textiles [23], [32], [53]. Un claro ejemplo se registra en las empresas que adquirieron y proyectaron su aplicación a los productos sostenibles evidenciando, no solo, beneficios ambientales, sino también ventajas competitivas y mejoras en la imagen corporativa [54].

El análisis de la innovación en la sostenibilidad y su impacto en la logística inversa del sector textil es un campo de estudio que examina cómo las prácticas innovadoras en

términos de sostenibilidad pueden transformar ámbitos que pueden ser analizados en base a impacto de reacción en la cadena en la industria de textiles. Se exploran cómo la economía circular puede impulsar cambios fundamentales en los distritos industriales textiles, alentando la adopción de enfoques más sostenibles que se aplicaron en casos de éxito [55]. El desarrollo sostenible es esencial para resolver los problemas ambientales y económicos actuales, así como para aprovechar las oportunidades de crear un futuro sostenible. Con soluciones innovadoras, podemos reducir nuestra huella de carbono, perfeccionar la eficacia energética, simplificar los residuos y promover una economía circular [56].

Además, las habilidades sólidas pueden aumentar la competitividad empresarial y poder ayudar a aliviar la excelencia de vida de las comunidades y colaboradores locales, contribuyendo en creación de puestos y generación de acciones sociales de impacto. En definitiva, la innovación es fundamental para un futuro próspero y sostenible. De esta manera, el orquestar y estabilizar de manera efectiva la cadena de suministro circular de las textilerías y desde la moda en tendencia, es posible mediante la implementación de prácticas colaborativas y eficientes en la gestión rápida de la logística inversa [57], [58]. En línea con esto, el reciclaje de textiles en la “moda circular” destaca la importancia de la innovación en materiales y tecnologías para cerrar el ciclo de los productos textiles de manera efectiva a lo largo de su duración [59]. Por ende, la circularidad de los materiales a través del reciclaje y la reutilización de textiles tiene un impacto significativo en la sostenibilidad general del sector textil [21], [23], [32], [40], [60].

V. CONCLUSIONES

Las prácticas y desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental en la logística inversa del sector textil evidencia que los diversos enfoques de ejecución dependen de los factores involucrados. Por lo cual, la implementación de modelos matemáticos de toma de decisiones multicriterio es requeridos para identificar los diferentes escenarios generados tras la implementación de este enfoque.

En este sentido, las variantes que influyen en el desarrollo de la logística inversa pueden asociarse a factores técnicos y/o administrativos desde su aplicación y finalización del enfoque. De igual manera, la aplicación de estos modelos en Latinoamérica, y su éxito de aplicación dependerá del enfoque organizacional, perspectiva interna y externa de los grupos de interés.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por la Dirección de Investigación de la Universidad Tecnológica del Perú para la ejecución de la presente investigación mediante el contrato de investigación P-2023-LIM-04.

REFERENCIAS

- [1] J. Castro, “La Industria Textil y de la Moda, Responsabilidad Social y la Agenda 2030,” *Cuad. del Cent. Estud. Diseño y Comun.*, no. 100, pp. 67–84, 2020.
- [2] M. Pagán Martínez, K. Tonelli Silveira Dias, S. Silva Braga Junior, and D. da Silva, “La logística inversa como herramienta para la gestión de residuos de los supermercados de venta al por menor,” *Rev. Gestão Ambient. e Sustentabilidade*, vol. 6, no. 3, pp. 150–165, Jan. 2017.
- [3] D. de Vettori Dorador, E. Huarag Guerrero, C. X. Carbajal Pineda, and N. V. Riveros Enciso, “Los impactos ambientales y jurídicos de la industria textil en el derecho de la moda,” *Lumen*, vol. 18, no. 2, pp. 79–91, 2022.
- [4] J. E. Ruiz Sánchez, M. L. González-Illescas, and L. P. Carmenate Fuentes, “La logística inversa como estrategia de diferenciación para los mercados dinámicos,” *INNOVA Res. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 140–156, 2020.
- [5] N. Unidas, “Los objetivos de desarrollo sostenible,” *Los Objet. Desarro. Sosten.*, 2020.
- [6] M. Bearman *et al.*, “Systematic review methodology in higher education,” *High. Educ. Res. Dev.*, vol. 31, no. 5, pp. 625–640, Oct. 2012.
- [7] M. Borrego, M. J. Foster, and J. E. Froyd, “Systematic Literature Reviews in Engineering Education and Other Developing Interdisciplinary Fields,” *J. Eng. Educ.*, vol. 103, no. 1, pp. 45–76, Jan. 2014.
- [8] P. V. Torres-Carrión, C. S. González-González, S. Aciar, and G. Rodríguez-Morales, “Methodology for systematic literature review applied to engineering and education,” in *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2018, pp. 1364–1373.
- [9] E. Linares-Espinós *et al.*, “Methodology of a systematic review,” *Actas Urológicas Españolas (English Ed.)*, vol. 42, no. 8, pp. 499–506, 2018.
- [10] M. J. Page *et al.*, “Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas,” *Rev. Española Cardiol. (English Ed.)*, vol. 74, no. 9, pp. 790–799, 2021.
- [11] F. A. de Lima, S. Seuring, and P. C. Sauer, “A systematic literature review exploring uncertainty management and sustainability outcomes in circular supply chains,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 60, no. 19, pp. 6013–6046, Oct. 2022.
- [12] M. I. Khan, L. Wang, and R. Padhye, “Textile waste management in Australia: A review,” *Resour. Conserv. Recycle. Adv.*, vol. 18, p. 200154, 2023.
- [13] F. T. Gbolarumi, K. Y. Wong, and S. T. Olohunde, “Sustainability Assessment in The Textile and Apparel Industry: A Review of Recent Studies,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1051, no. 1, p. 12099, 2021.
- [14] G. Sandin and G. M. Peters, “Environmental impact of textile reuse and recycling – A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 184, pp. 353–365, 2018.
- [15] S. Sehnem, D. Vazquez-Brust, S. C. F. Pereira, and L. M. S. Campos, “Circular economy: benefits, impacts and overlapping,” *Supply Chain Manag. An Int. J.*, vol. 24, no. 6, pp. 784–804, Jan. 2019.
- [16] M. Krstić, G. P. Agnusdei, P. P. Miglietta, and S. Tadić, “Evaluation of the smart reverse logistics development scenarios using a novel MCDM model,” *Clean. Environ. Syst.*, vol. 7, p. 100099, 2022.
- [17] M. Wilson and S. Goffnett, “Reverse logistics: Understanding end-of-life product management,” *Bus. Horiz.*, vol. 65, no. 5, pp. 643–655, 2022.
- [18] N. S. González-Castillo, J. Núñez-Rodríguez, and M. S. Ramírez-Rojas, “Implicación de la logística inversa en la sostenibilidad del sector textil: una revisión sistemática,” *I+D Rev. Investig.*, vol. 18, no. 1, pp. 16–44, 2023.
- [19] S. Garcia, I. de A. Nääs, P. L. de O. Costa Neto, and J. G. M. dos Reis, “Reverse Logistics and Waste in the Textile and Clothing Production Chain in Brazil BT - Advances in Production

- Management Systems. Production Management for the Factory of the Future,” 2019, pp. 173–179.
- [20] L. Moreira, A. R. Galvão, V. Braga, A. Braga, and J. Teixeira, “Sustainability as a Gateway to Textile International Markets: The Portuguese Case,” *Sustain.*, vol. 15, no. 5, 2023.
- [21] M. G. Arnold, C. Pfaff, and T. Pfaff, “Circular Business Model Strategies Progressing Sustainability in the German Textile Manufacturing Industry,” *Sustainability*, vol. 15, no. 5, 2023.
- [22] E. Pinheiro, A. C. de Francisco, C. M. Piekarski, and J. T. de Souza, “How to identify opportunities for improvement in the use of reverse logistics in clothing industries? A case study in a Brazilian cluster,” *J. Clean. Prod.*, vol. 210, pp. 612–619, 2019.
- [23] L. Keßler, S. A. Matlin, and K. Kümmerer, “The contribution of material circularity to sustainability—Recycling and reuse of textiles,” *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 32, p. 100535, 2021.
- [24] N. R. Chowdhury, S. K. Paul, T. Sarker, and Y. Shi, “Implementing smart waste management system for a sustainable circular economy in the textile industry,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 262, p. 108876, 2023.
- [25] I. Kazancoglu, Y. Kazancoglu, E. Yarimoglu, and A. Kahraman, “A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry,” *Sustain. Dev.*, vol. 28, no. 5, pp. 1477–1492, Sep. 2020.
- [26] F. Ahlström, C. Ferning, M. K. Cheniere, and S. Sorooshian, “Performance Indicators of Textile Reverse Logistics,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 442, no. 1, p. 12012, 2020.
- [27] Mishra, A., Dutta, P., Jayasankar, S., Jain, P. and Mathiyazhagan, K. (2023), "A review of reverse logistics and closed-loop supply chains in the perspective of circular economy", Benchmarking: An International Journal, Vol. 30 No. 3, pp. 975-1020. <https://doi.org/10.1108/BIJ-11-2021-0669>
- [28] L. M. Degenstein, R. H. McQueen, N. T. Krogman, and L. S. McNeill, “Integrating Product Stewardship into the Clothing and Textile Industry: Perspectives of New Zealand Stakeholders,” *Sustainability*, vol. 15, no. 5, 2023.
- [29] P. Dutta, S. Talaulikar, V. Xavier, and S. Kapoor, “Fostering reverse logistics in India by prominent barrier identification and strategy implementation to promote circular economy,” *J. Clean. Prod.*, vol. 294, p. 126241, 2021.
- [30] G. P. Agnusdei, M. G. Gnoni, F. Sgarbossa, and K. Govindann, “Challenges and perspectives of the Industry 4.0 technologies within the last-mile and first-mile reverse logistics: A systematic literature review,” *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 45, p. 100896, 2022.
- [31] A. Zhuravleva and A. Aminoff, “Emerging partnerships between non-profit organizations and companies in reverse supply chains: enabling valorization of post-use textile,” *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 51, no. 9, pp. 978–998, Jan. 2021.
- [32] B. Xu, Q. Chen, B. Fu, R. Zheng, and J. Fan, “Current Situation and Construction of Recycling System in China for Post-Consumer Textile Waste,” *Sustain.*, vol. 14, no. 24, pp. 1–17, 2022.
- [33] M. Tayyab, J. Jemai, H. Lim, and B. Sarkar, “A sustainable development framework for a cleaner multi-item multi-stage textile production system with a process improvement initiative,” *J. Clean. Prod.*, vol. 246, p. 119055, 2020.
- [34] M. Schmutz and C. Som, “Identifying the potential for circularity of industrial textile waste generated within Swiss companies,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 182, p. 106132, 2022.
- [35] G. C. de Oliveira Neto, J. M. F. Correia, H. N. P. Tucci, A. F. H. Librantz, B. F. Giannetti, and C. M. V. B. de Almeida, “Sustainable Resilience Degree assessment of the textile industrial by size: Incremental change in cleaner production practices considering circular economy,” *J. Clean. Prod.*, vol. 380, p. 134633, 2022.
- [36] F. Jia, S. Yin, L. Chen, and X. Chen, “The circular economy in the textile and apparel industry: A systematic literature review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 259, p. 120728, 2020.
- [37] V. Julianelli, R. G. G. Caiado, L. F. Scavarda, and S. P. de M. F. Cruz, “Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 158, p. 104784, 2020.
- [38] P. K. Mallick, K. B. Salling, D. C. A. Pigosso, and T. C. McAloone, “Closing the loop: Establishing reverse logistics for a circular economy, a systematic review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 328, p. 117017, 2023.
- [39] S. Bali, A. Gunasekaran, S. Aggarwal, B. Tyagi, and V. Bali, “A strategic decision-making framework for sustainable reverse operations,” *J. Clean. Prod.*, vol. 381, p. 135058, 2022.
- [40] P. S. Dos Santos and L. M. de S. Campos, “Practices for garment industry’s post-consumer textile waste management in the circular economy context: An analysis on literature,” *Brazilian J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–17, 2021.
- [41] S. Garcia *et al.*, “Sustainability in Fabric Chains and Garments for a Circular Economy BT - Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems,” 2020, pp. 531–537.
- [42] M. J. Yriberry, S. J. Yriberry, and R. P. Larios-Francia, “The Role of Ecodesign in Circular Economy to Improve the Performance of Enterprises in the Fashion Industry: A Systematic Review of Literature,” *Int. J. Environ. Sustain.*, vol. 19, no. 2, pp. 43–74, 2023.
- [43] X. Yan, S. Madjidov, and H. Halepoto, “Optimisation in the logistics and management of supply chains in production by textile enterprises,” *Tekstilec*, vol. 64, no. 3, pp. 197–205, 2021.
- [44] Z. Yu, M. Waqas, M. Tabish, M. Tanveer, I. U. Haq, and S. A. R. Khan, “Sustainable supply chain management and green technologies: a bibliometric review of literature,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 39, pp. 58454–58470, 2022.
- [45] B. Harsanto, I. Primiana, V. Sarasi, and Y. Satyakti, “Sustainability Innovation in the Textile Industry: A Systematic Review,” *Sustain.*, vol. 15, no. 2, 2023.
- [46] C. Coppola, A. Vollero, and A. Siano, “Developing dynamic capabilities for the circular economy in the textile and clothing industry in Italy: A natural-resource-based view,” *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 32, no. 7, pp. 4798–4820, Nov. 2023.
- [47] Z. Ahmed, S. Mahmud, and D. H. Acet, “Circular economy model for developing countries: evidence from Bangladesh,” *Heliyon*, vol. 8, no. 5, p. e09530, 2022.
- [48] K. A. Schumacher and A. L. Forster, “Textiles in a circular economy: An assessment of the current landscape, challenges, and opportunities in the United States ,” *Frontiers in Sustainability* , vol. 3, 2022.
- [49] X. Liu *et al.*, “Recycling in Textile Sector: A New Circular Economy Approach Towards Ecology and Environmental Sustainability ,” *Frontiers in Environmental Science* , vol. 10, 2022.
- [50] U. R. de Oliveira, R. P. Menezes, and V. A. Fernandes, “A systematic literature review on corporate sustainability: contributions, barriers, innovations and future possibilities,” *Environ. Dev. Sustain.*, 2023.
- [51] S. Sardar, M. Mohsin, M. Saad Memon, B. Ramzan, and R. Sharif, “An empirical study regarding the environmental sustainability practices in the textile industry,” *Ind. Textila*, vol. 73, no. 04, pp. 384–396, Sep. 2022.
- [52] Y.-J. Cai and T.-M. Choi, “A United Nations’ Sustainable Development Goals perspective for sustainable textile and apparel supply chain management,” *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 141, p. 102010, 2020.
- [53] A. Salesa, R. León, and J. M. Moneva, “Is Business Research Shaping the Circle? Systematic and Bibliometric Review of Circular Economy Research,” *Sustain.*, vol. 14, no. 14, pp. 1–24, 2022.
- [54] R. de S. Corrêa, U. R. de Oliveira, M. M. Abdalla, and V. A. Fernandes, “Systematic literature review on sustainable products: Impact on organizations, research opportunities and future perspectives,” *Clean. Waste Syst.*, vol. 1, p. 100003, 2022.
- [55] T. Dzhengiz, A. Riandita, and A. Broström, “Configurations of sustainability-oriented textile partnerships,” *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 32, no. 7, pp. 4392–4412, Nov. 2023.
- [56] P. Zerbino, A. Stefanini, D. Aloini, R. Dulmin, and V. Mininno,

- “Does supply chain sustainability benefit from formal scavenging? A case study in circular settings,” *J. Clean. Prod.*, vol. 385, p. 135669, 2023.
- [57] G. Bressanelli, F. Visintin, and N. Saccani, “Circular Economy and the evolution of industrial districts: a supply chain perspective,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 243, p. 108348, 2022.
- [58] N. Saccani, G. Bressanelli, and F. Visintin, “Circular supply chain orchestration to overcome Circular Economy challenges: An empirical investigation in the textile and fashion industries,” *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 35, pp. 469–482, 2023.
- [59] E. O. Rotimi, C. Topple, and J. Hopkins, “Towards A Conceptual Framework of Sustainable Practices of Post-consumer Textile Waste at Garment End of Lifecycle: A Systematic Literature Review Approach,” *Sustainability*, vol. 13, no. 5. 2021.
- [60] S. Lahane and R. Kant, “Investigating the sustainable development goals derived due to adoption of circular economy practices,” *Waste Manag.*, vol. 143, pp. 1–14, 2022.