

**INDUSTRIA 4.0 IMPACTA LA LOGÍSTICA INVERSA**  
**INDUSTRY 4.0 IMPACTS REVERSE LOGISTICS**

**Xiomara Daniela Velásquez Monroy<sup>1</sup>** 

<sup>1</sup>Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Colombia, **Email:** [xiomara.velasquez@ica.gov.co](mailto:xiomara.velasquez@ica.gov.co)

**Para citar este artículo:** Velasquez Monroy, X.D, (2023). Industria 4.0 impacta la logística inversa. Revista Loginn: Investigación Científica y Tecnológica, *Loginn 7 (1)*.

<https://orcid.org/0000-0003-4264-1247>

Recibido: 19 de noviembre 2022  
Aceptado: 29 de junio de 2023  
Publicado en línea: junio 30 de 2023

.....  
**Palabras clave:**

Industria 4.0;  
Cadena de Suministro;  
Economía Circular;  
Logística Inversa 4.0;  
Sostenibilidad.

**Resumen**

El creciente enfoque en el desarrollo sostenible, la economía circular y regulaciones ambientales más estrictas han requerido que las empresas y organizaciones que integran las cadenas de suministro asuman la responsabilidad de todo el ciclo de vida de sus productos. Esto, con el objeto de maximizar la recuperación del valor restante de los productos al final de su uso y de su vida útil, a través del diseño, operación, control, y mantenimiento económico y eficientemente del flujo logístico inverso de sus productos, desde los clientes hacia fabricantes y proveedores iniciales, con el apoyo de operaciones logísticas de recolección y reciclaje con el objeto de preservar el valor y la utilidad de los materiales en el mayor tiempo posible, generando ganancias significativas en la cadena de valor. Sin embargo, la logística inversa tradicional no puede hacer frente a los requisitos de las cadenas de suministros modernas y requiere la implementación de tecnologías disruptivas de la Industria 4.0, lo que la haría más eficiente, con procesos de redistribución más limpios, con objetivos de sostenibilidad afines a la economía circular. Las tecnologías disruptivas de la industria 4.0 conducen a mejoras de la sostenibilidad empresarial e introducen importantes soluciones innovadoras en la logística inversa.

**JEL:**

F18; J20;  
L81; O10;  
Q53

.....  
**Keywords:**

Industry 4.0;  
Supply Chain;  
Circular Economy;  
Reverse Logistics 4.0;  
Sustainability.

**Abstract**

The increasing focus on sustainable development, the circular economy and stricter environmental regulations have required companies and organizations that make up supply chains to take responsibility for the entire life cycle of their products. This, in order to maximize the recovery of the remaining value of the products at the end of their use and useful life, through the economical and efficient design, operation, control, and maintenance of the reverse logistics flow of their products, from the customers to initial manufacturers and suppliers, with the support of collection and recycling logistics operations in order to preserve the value and usefulness of materials for as long as possible, generating significant gains in the value chain. However, traditional reverse logistics cannot cope with the requirements of modern supply chains and requires the implementation of disruptive Industry 4.0 technologies, which would make it more efficient, with cleaner redistribution processes, with sustainability goals. related to the circular economy. The disruptive technologies of Industry 4.0 lead to improvements in business sustainability and introduce important innovative solutions in reverse logistics.

## Introducción

La Logística Inversa (LI) es un tipo de Cadena de Suministro (CS) cuyo intención es optimizar el flujo logístico de retornos/devoluciones de productos (bienes), desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el objeto de planificar, implementar y controlar de manera eficiente y efectiva la adecuada eliminación de materiales, productos finales e inventarios, o recuperación de su valor a través de la reventa, reacondicionamiento, reparación, refabricación o reciclaje (Marta Starostka-Patyk & Paulina Grunt, 2022). En consecuencia, la Economía Circular (EC), al ser una economía industrial restaurativa y regenerativa, a fin con la LI, tiene como objeto preservar la usabilidad y el valor de los productos terminados, componentes y materias primas en todo momento; transforma el proceso de la cadena de valor lineal hacia adelante (tomar, fabricar y desechar) en la CS mediante la introducción de procesos de recuperación, remarketing, reutilización, refabricación y reciclaje, convirtiéndose así en una opción prometedora para concebir el desarrollo sostenible. Por tanto, la LI está fuertemente arraigada en el paradigma de la EC. Comparten los mismos requisitos de sostenibilidad y principios técnicos basados en la restauración y circularidad de los materiales. La LI permite la circularidad de los flujos de retornos dentro de la CS con el objeto de recuperar el valor de los productos y/o extraer el valor de los materiales.

La LI incluye los reflujos de devoluciones y retiros, que se pueden revender, reutilizar, reparar, reacondicionar o remanufacturar, y los desechos, que se pueden reciclar o eliminar. Desde una perspectiva operativa, la LI requiere la gestión de inventarios de productos devueltos o materiales desechados, mientras que desde una perspectiva circular, la LI representa una oportunidad para reducir los impactos ambientales de todo negocio. Si todos los bienes devueltos se gestionan de manera adecuada y eficiente, las empresas pueden aumentar sus ganancias (Marta Starostka-Patyk et al., 2022). El producto devuelto que se recibe a través de la LI se clasifica en tres categorías: revenderlo directamente, restaurarlo y/o reciclarlo, lo que ayuda a aumentar los factores de sostenibilidad y disminuir el impacto negativo en el medio ambiente; las categorizaciones adecuadas de los productos devueltos y sus movimientos circulares con la economía ayudan a lograr el desarrollo de objetivos de la EC en la CS.

## Cadena de Suministro Sostenible

La sostenibilidad de la CS se refiere a los esfuerzos de las empresas y organizaciones para abordar los impactos ambientales y durante el transporte, almacenamiento y distribución de sus productos a través de la Cadena de Valor (CV), desde el abastecimiento de materias primas, la fabricación, el almacenamiento, la distribución y todas las conexiones de transporte intermedias. La adopción de prácticas de sustentabilidad no solo mejora el desempeño ambiental y social de una organización y el desempeño de la CS, sino que también le permite adquirir un nuevo conjunto de competencias que pueden ayudarla a obtener una ventaja competitiva. La LI ha contribuido significativamente a los ingresos y la sostenibilidad de las empresas y organizaciones (Umar, M., Khan, S.A.R., Zia-ul-haq, H.M., Yusliza, M.Y. & Farooq, K., 2022). La LI comienza donde termina el flujo logístico directo de la CS, hacia adelante, es decir, el flujo logístico inverso de la gestión de la CS.

Según estudios, el 42 % de todos los artículos electrónicos ordenados en línea se devuelven a través de las redes de LI. Siendo una cantidad enorme para cualquier empresa en el actual entorno competitivo. Las devoluciones son inevitables para cualquier empresa y son un componente crucial para decidir el costo del producto. Lo anterior, debido a que la plataforma de comercio electrónico B2C carece de un sistema de logística hacia adelante y hacia atrás para la entrega de productos electrónicos nuevos y para la recolección de productos devueltos por los clientes (Dhirendra Prajapati, Saurabh Pratap, Mengdi Zhang, Lakshay & George Q. Huang., 2022).

Si todos los bienes devueltos se gestionan de manera adecuada y eficiente, las empresas pueden aumentar sus ganancias. El producto devuelto que se recibe a través de la LI y se clasifica en categorías: revender directamente, restaurar y/o reciclarlo; lo que ayuda a aumentar los factores de sostenibilidad y disminuir el impacto negativo en el medio ambiente (Marco Simonetto, Fabio Sgarbossa, Daria Battini & Kannan Govindan, 2022); las categorizaciones adecuadas de los productos devueltos y sus movimientos circulares contribuyen con el desarrollo de objetivos de la EC. En efecto, lograr los objetivos de desarrollo de la EC y la sostenibilidad, es necesario presentar modelos de optimización que incorporen un sentido comercial efectivo y que cumplan con los requisitos de la CS, incluida la reventa, la restauración y el reciclaje.

## **Economía Circular**

La naturaleza de la EC se define como actividades económicas basadas en los tres principios de Reducir-Reutilizar-Reciclar. La utilización de recursos, la ecoeconomía, la ecoeficiencia, los diseños sostenibles, la fabricación ajustada y la gestión del ciclo de vida del producto pueden considerarse planes de acción para una EC. La EC (Krstić, Mladen, Giulio Paolo Agnusdei, Pier Paolo Miglietta, Snežana Tadić & Violeta Roso, 2022). representa cero emisiones, cero residuos, por lo que los subproductos o productos dañados generados en el proceso de fabricación y los materiales que ya no se consideran necesarios se reciclan y no se relegan a residuos, sino que sirven como materia prima para un nuevo ciclo de producción. En respuesta a las necesidades de la ecoeconomía, las empresas deben establecer un modelo circular para reemplazar el modelo lineal anterior de Fabricación-Desperdicio (es decir, extracción, producción y eliminación) y maximizar el uso de recursos a través de la reutilización de materiales, lo que implica establecer una CS sustentable (Navin K. Dev, Ravi Shankar & Fahham Hasan Kaiser, 2020). Como modelo económico basado en los principios de regeneración y restauración, la EC es una alternativa viable para concebir el desarrollo sostenible. La necesidad de reutilizar residuos y productos contribuyó al desarrollo del concepto de EC.

De hecho, la EC, es conocida como economía libre de residuos, pues permite conservar el valor añadido de los productos durante el mayor tiempo posible y ayuda a minimizar la cantidad de residuos. Cuando el ciclo de vida del producto llega a su fin, los recursos en el CV se conservan, lo que les permite ser reutilizados muchas veces de forma productiva, creando así otro valor. La transición a una EC requiere tanto la introducción de cambios en las empresas y organizaciones en todas las etapas de la CS como la orientación hacia un nuevo comportamiento del consumidor (Emilia Taddei, Claudio Sassanelli, Paolo Rosa & Sergio Terzi., 2022). Sin embargo, para gerenciar la CV orientada a la EC, las empresas y organizaciones necesitan asegurarse de administrar las operaciones de recuperación y remarketing respaldadas por el departamento de LI. La EC y LI tienen enfoques similares, las dos se preocupan por aspectos económicos y ambientales; componentes clave de cualquier empresa para hacer que sea rentable y competitiva en el mercado global. La EC propone que la LI debe diseñarse más allá de la CS de una empresa, y no restringida a operaciones de recolección y reciclaje de residuos para preservar el valor y la utilidad del material en el mayor tiempo posible, además de generar ganancias significativas en la CV.

En la EC, el diseño adecuado se centra en encontrar soluciones para evitar la eliminación de residuos en vertederos y facilitar el desmontaje y la reutilización. Cuando los materiales pueden reclasificarse o reutilizarse como materias primas para otros productos, dichos productos de diseño pueden reutilizarse, reciclarse y la energía renovable puede utilizarse como fuente principal de energía, reduciendo así la dependencia de la energía de combustibles fósiles, y aumentando la adaptabilidad y flexibilidad de la economía (Xiaoyu Yan, Weihua Liu, Ming K. Lim, Yong Lin & Wanying Wei., 2022) En cuanto a mantener el valor económico de los productos y sus componentes al Final De su Uso (FDU) y al Final de su Vida Útil (FVU) durante más tiempo mediante la reutilización/reparación/restauración/refabricación/reutilización del producto o sus componentes, requiere de estrategias de aceptación en el mercado, que la LI funcione bien, que se rentable corporativamente y de modificaciones de los modelos de negocio.

De igual forma, en la EC, los productos reutilizados deben conservar en la medida de lo posible sus funciones y condiciones de uso originales. En el caso de reventa de bienes de segunda mano, solo se cambia el propietario del producto sin afecta el valor económico de este. Para extender la vida útil del producto y aumentar su valor económico requiere de un proceso integral y efectivo de devolución y mantenimiento de alerta temprana (Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, Charbel Jose Chiappetta Jabbour, Tsan-Ming Choi & Hengky Latan, 2022). En cuanto a la restauración de productos defectuosos, que a menudo requiere el reemplazo de piezas defectuosas, la gestión de piezas de repuesto requiere ser administrada adecuadamente para que la reparación, la restauración y la refabricación sean factibles.

En la CS, la aplicación de la circularidad se basa en: extender la durabilidad de los productos o aumentar el número de ciclos de refabricación, reparación, reacondicionamiento y reciclaje, y en extender el tiempo de almacenamiento del material. Por tanto, los sistemas de producción deben ser reconsiderados (Bag, Surajit; Yadav, Gunjan; Wood, Lincoln C.; Dhamija, Pavitra; Joshi, Sudhanshu, 2020; Konstantinos Voulgaridis, Thomas Lagkas & Panagiotis G. Sarigiannidis, 2022), para permitir procesos de producción más eficientes y respetuosos con el medio ambiente, es decir, de 3R (reducir, reutilizar, reciclar), a 6R (reutilizar, reciclar, rediseñar, remanufacturar, reducir, reciclar) y pasa a 10R (rechazar, repensar, reducir, reutilizar, reparar, reacondicionar, remanufacturar, reutilizar, reciclar y recuperar) (Cagno, Enrico, Alessandra Neri, Marta Negri, Carlo Andrea Bassani & Tommaso Lampertico, 2021) con el objeto de generar más ganancias para las empresas y organizaciones.

En general, La CS está asociada al consumo de recursos y generación de residuos para atender al cliente final y gestionar las pérdidas inherentes a los productos al FDU/FVU (Surajit Bag, Gunjan Yadav, Lincoln C. Wood, Pavitra Dhamija & Sudhanshu Joshi, 2020). Cada segmento de la CS, desde la obtención de materias primas hasta la gestión al FDU/FVU de los productos, contribuyendo a la circularidad general de la CS; la economía global actualmente es solo 9 % circular. Este hecho significa que los actuales sistemas de producción y consumo son incapaces de restaurar el valor de los recursos naturales que se consumen para producir bienes a lo largo de la CS y la CV.

## Logística Inversa

La logística directa se define como la interrelación dinámica de los siguientes flujos: a) Flujo de productos, materias primas y componentes que se mueven desde aguas arriba (proveedor/fabricante) hasta aguas abajo (cliente/consumidor); b) Flujo de información y dinero en efectivo que viaja de aguas abajo hacia aguas arriba; c) Flujo de la demanda y de riesgos que se mueven dinámicamente en ambos sentidos (aguas arriba/aguas abajo; aguas abajo/ aguas arriba); d) Flujo de retornos/ devoluciones que se mueve de aguas abajo (cliente/consumidor) hacia aguas arriba (proveedor/fabricante) (Marta Starostka-Patyk, 2021). En palabras simples, la logística directa solo entrega productos a los segmentos posteriores de la CS. En la logística directa (Pamal R. Nanayakkara, Madushan Madhava Jayalath, Amila Thibbotuwawa & H. Niles Perera, 2022), por lo general, se pronostican las ventas futuras, los productos se envían a los centros de distribución y, finalmente, las mercancías llegan a los puntos de venta minorista para los clientes finales. Sin embargo, en la LI tiene mucha menos visibilidad y coordinación entre los integrantes de la CS, es muy reactiva.

En la LI (Marta Starostka-Patyk et al., 2022), las empresas no inician su actividad como resultado de una planificación y decisión, sino como respuesta a acciones a través de canales posteriores (cliente/consumidor. Así, la LI se ha visto como una logística que va en la dirección equivocada; no debería ser el caso, pues es un desafío controlar las actividades de LI sin la participación de los segmentos posteriores de la CS, , incluidos los clientes, consumidores, minoristas y distribuidores. La mayoría de las veces, los consumidores devuelven los productos a un minorista para su reparación, refabricación o reciclaje. No obstante, el minorista conserva estos productos/artículos durante mucho tiempo, con el objeto de hacer un solo un envío (consolidado) y luego poder enviar al distribuidor; el distribuidor también se toma un tiempo para que sea un solo envío consolidado y significativo. Finalmente lo envía a los fabricantes; todos estos procedimientos, por lo general toman meses.

Por tanto, la LI se refiere al papel fundamental de la logística en la devolución de mercancías, el reciclaje, la reutilización de materiales, la reducción de fuentes, la sustitución de materiales, la restauración, la eliminación de desechos, la refabricación y la reparación (Khan, S.A., Laalaoui, W., Hokal, F., Tareq, M. & Ahmad, L., 2022). Estudios indican que una de cada cinco toneladas de material que fluye a través de las redes de retorno son residuos, por esto, antes de establecer los flujos logísticos inversos, las empresas y organizaciones que integran la CS deben asegurarse de que los productos puedan reutilizarse, remanufacturarse, repararse o reciclarse.

De nada sirve recuperar un producto si no se puede recuperar su valor. Por tanto, la gestión de LI, por su naturaleza, está relacionada con acciones a nivel estratégico y operativo, ya que el propósito de la gestión no es solo la recuperación de valor, sino también la generación de valor. En efecto, la LI consiste en gestionar la circulación de residuos (productos dañados y no dañados) y toda la información relacionada con estos. Se trata de actividades desde el lugar de origen hasta el lugar de procesamiento de residuos (reciclado), por lo que incluye la planificación, ejecución y control del flujo de materiales, mercancías y productos finales. En otras palabras, la LI es la fuerza impulsora de los flujos circulares de materiales, ya que promueven su retorno a la CS para la extracción de valor

De hecho, la LI se centra en la Recuperación de Valor de los Productos (RVP) al FDU/FVU, así como del debido tratamiento de los no reciclables, siendo el proceso central de la recuperación de valor y recuperación de material de los productos al FDU/FVU; ganando importancia creciente como estrategia comercial rentable y sostenible. En consecuencia, las operaciones logísticas de la LI consisten en la recolección de productos al FDU/FVU, de clientes y usuarios finales, la inspección, clasificación, desmontaje y/o preprocesamiento apropiados (Lars Kintscher, Sebastian Lawrenz, Hendrik Poschmann, & Priyanka Sharma, 2020), la distribución de diferentes productos, partes y componentes a las instalaciones respectivas para el tratamiento adecuado, planificación y programación de operaciones y el transporte a las instalaciones. Configurar un sistema de LI para la gestión eficaz de estas operaciones requiere una adecuada toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo.

Sin embargo, en la práctica, la RVP a través de la LI puede verse drásticamente obstaculizada (Yasin Galip Gencer & Ulas Akkucuk, 2020), por factores como: el bajo margen de beneficio, la posible competencia con nuevos productos, la canibalización y no aceptación del mercado, la complejidad de gestionar flujos inversos y por las actividades de reciclaje inadecuadas que generan impactos ambientales y sociales negativos. Por tanto, el objetivo principal de la LI es maximizar la RVP al FDU/FVU a través del diseño, operación, control y mantenimiento adecuados de flujos logísticos efectivos y económicamente eficientes desde los clientes hacia los proveedores iniciales y fabricantes; y donde los no reciclables deben eliminarse/desecharse adecuadamente.

Finalmente, el auge y desarrollo de la LI se debe, a saber: a) el aumento de los requisitos legales en materia de protección del medio ambiente, imponiendo a las unidades económicas (segmentos de la CS) la obligación de gestionar eficazmente el producto en cada etapa de su ciclo de vida; b) aumento de los requisitos de los clientes en cuanto a la calidad de los productos, lo que aumenta el número de bienes excluidos en la distribución; c) altas existencias que caducan con el tiempo y necesitan ser procesadas para su reutilización; d) voluntad de obtener una ventaja competitiva, lo que obliga a la introducción de soluciones innovadoras, también en el ámbito de la reutilización de bienes y materiales; e) mayor concienciación de los consumidores sobre el cuidado del medio ambiente natural y la posibilidad de reciclar los productos usados (Hannan Amoozad Mahdiraji, Fatemeh Yaftiyan, Aliasghar Abbasi-Kamardi & Jose Arturo Garza-Reyes, 2022); f) falta tasa de devolución de productos usados; g) capacidad para negociar devoluciones en mercados secundarios, obteniendo así beneficios económicos; h) para alcanzar una escala suficiente y construir una LI eficaz y eficiente, las empresas deben consolidar sus flujos de retorno mediante la colaboración a lo largo de la CV del titular y las actividades adyacentes o en cascada. Los flujos de retorno suelen ser más fáciles de consolidar entre empresas que los flujos directos porque no están sujetos a las mismas restricciones de tiempo y confidencialidad.

## Industria 4.0

Las tecnologías disruptivas de la Industria 4.0 (I4.0) permiten a las empresas gestionar los flujos logísticos de retorno, propios de la LI, que son menos predecibles y más variables que los flujos directos (Theofilos D. Mastos, Alexandros Nizamis, Sofia Terzi, Dimitrios Gkortzis, Angelos Papadopoulos, Nikolaos Tsagkalidis, Dimosthenis Ioannidis, Konstantinos Votis, Dimitrios Tzovaras, 2021). Lo anterior, ya que los dispositivos conectados pueden rastrear la ubicación y condición de activos y recursos. Las empresas pueden saber dónde están sus activos y materiales, incluso después de que salen de la CS, y cuantificar el valor de recuperación en un nivel específico del producto (Praveen Kumar Reddy Maddikunta, Quoc-Viet Pham, Prabadevi B, N Deepa, Kapal Dev, Thippa Reddy Gadekallu, Rukhsana Ruby & Madhusanka Liyanage, 2022). Por tanto, la I4.0 ayuda a la CS: a) en la conectividad inicial para la recopilación y el análisis de datos (Abhijeet Ghadge, D.G. Mogale, Michael Bourlakis, Lohithaksha M. Maiyar & Hamid Moradlou, 2022); b) en el aumento de la creación de redes y en la digitalización y mejora de los procesos logísticos; c) en la automatización y actualización de estándares lo que conlleva a la reducción de costos; d) en la creación y desarrollo de nuevos modelos de negocios (Stephen Pettit, Yingli Wang & Anthony Beresford, 2022); e) mejora la calidad y aumenta la eficiencia aguas arriba-aguas abajo; f) en la digitalización, la automatización e integración total de la CS. Las tecnologías disruptivas más importantes de la I4.0, a saber:

**Internet de las cosas (IoT):** se refiere a la interconexión de redes y la capacidad de conectar millones de objetos físicos con Internet. Permite que diferentes dispositivos inteligentes puedan interconectarse, monitorearse, comunicarse y controlarse de acuerdo a protocolos de comunicación estándar para facilitar la transición de bienes, servicios e información.

**Cyber-Physical System (CPS):** es la integración del sistema de inteligencia computacional y elementos físicos, que permite interacciones efectivas entre el sistema y los humanos. CPS tiene como objetivo lograr un alto nivel de conectividad, inteligencia y automatización mediante la integración de componentes cibernéticos y físicos. Por tanto, el nivel de CPS determina en gran medida la implementación exitosa de la I4.0.

**Análisis Big Data:** es la capacidad analítica de última generación para procesar con alta velocidad, alta complejidad y gran variedad un gran volumen de datos dinámicos. Las estrategias y operaciones de una empresa o un sistema pueden evaluarse continuamente a través de análisis de datos masivos para obtener información crítica con el objeto de mejorar la planificación comercial y toma de decisiones.

**Inteligencia Artificial (AI):** se refiere a los sistemas y aplicaciones informáticas que realizan tareas que necesitan inteligencia humana, y también tiene la capacidad de aprender y mejorar el pensamiento, la percepción y la acción a través del entrenamiento a partir de datos y algoritmos. Los algoritmos de IA se utilizan ampliamente en muchas áreas, por ejemplo, enrutamiento, gestión de tráfico, mantenimiento y seguridad.

**Tecnologías en la Nube:** brindan una plataforma central para el almacenamiento y la integración de recursos de tecnología de la información (TI) configurables, que permiten el acceso a datos y recursos desde ubicaciones descentralizadas. Las tecnologías de la nube forman la arquitectura orientada a servicios que vincula los conceptos de plataforma como servicio (PaaS), software como servicio (SaaS) e información como servicio (IaaS).

**Blockchain:** es una forma innovadora de implementar tecnologías de registros distribuidos que cualquier persona sin una autoridad central puede programar para registrar y rastrear cualquier dato, siendo una red entre pares y una forma no destructiva de rastrear los cambios de datos a lo largo del tiempo.

**Robots Autónomos:** son inteligentes y capaces de autoorganizarse, autoevaluarse y tomar decisiones para ejecutar varias tareas sin instrucciones humanas. Puede tener varios tamaños y formas, así como diferentes niveles de autonomía, movilidad e inteligencia.

**Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV):** comúnmente conocido como dron, es un dispositivo volador que no requiere un piloto humano a bordo. Suele estar pilotado por control remoto o por un control combinado con programación informática.

**Fabricación Aditiva-Impresión 3D:** es la producción por capas o fabricación generativa. Al agregar material capa sobre capa, brinda oportunidades para la producción precisa de artículos en el tamaño, la forma y el material requeridos sin desperdicios. Con la madurez tecnológica y la creciente conciencia de la sostenibilidad, 3D se ha utilizado cada vez más como elemento principal en los procesos de producción y logística.

**Realidad Aumentada (RA):** es la superposición de información digital generada por computadora, por ejemplo, textos, imágenes y efectos, en el mundo real, que puede interactuar con los usuarios y dar instrucciones en tiempo real de una manera fácil de usar.

**Tecnologías Virtuales y Simulación:** son herramientas poderosas que pueden imitar, evaluar, optimizar y controlar una entidad del mundo real o un sistema en su representación digital en un entorno libre de riesgos y rentable.

**Ciberseguridad:** se refiere a la protección y defensa de datos críticos, servidores y computadoras, software y otros recursos de TI de ataques cibernéticos.

Estas tecnologías (Theofilos D. Mastos, et al., 2021), no solo se utilizan para mejorar los procesos de fabricación, sino que también se aplican para mejorar la gestión de CS, la innovación y el desarrollo sostenible. Investigaciones recientes han mostrado grandes oportunidades para mejorar la sostenibilidad y la EC con la ayuda de la I4.0, por ejemplo, reduciendo la generación de residuos y mejorando la utilización del material mediante la adopción de un proceso de producción inteligente a pequeña escala impulsado por la demanda con fabricación aditiva 3D.

### Logística Inversa 4.0

La LI tradicional no puede hacer frente a los requisitos de las CS modernas y requiere la implementación de tecnologías disruptivas de la Industria 4.0 (I4.0) (Xu Sun; Hao Yu & Wei Deng Solvang, 2022), lo que lo haría más eficiente: hacia una "Logística Inversa 4.0 (LI 4.0)". Dado que las soluciones de I4.0 se identifican como factores disruptivos en la CS, con procesos de producción más limpios, las empresas deben acelerar la implementación de EC y las nuevas tecnologías de la I4.0 para cumplir con sus objetivos de sostenibilidad.

La LI 4.0 es un aspecto inherente de que se refiere a la implementación de varias tecnologías de Industria 4.0 en logística inversa (Mehmet Ali Ilgin, 2021). Las tecnologías disruptivas de la I4.0 introducen importantes soluciones de innovación que permiten abordar nuevos desafíos: rediseñar la CS tradicional, buscar competitividad, transitar hacia la era digital; permiten a las empresas y/u organizaciones gestionar los flujos de retorno que son menos predecibles y más variables que los directos (Theofilos D. Mastos, et al., 2021; Xu Sun, Hao Yu, Wei Deng Solvang, Yi Wang & Kesheng Wang, 2022). Por ejemplo, los dispositivos conectados pueden rastrear la ubicación y condición de activos y recursos (Akkad, M.Z., Bányai, T., 2021).

Las tecnologías disruptivas de la I4.0 respaldan la sostenibilidad económica, social y ambiental de la CS al fomentar la LI 4.0. Transitar hacia una LI 4.0 requiere de digitalización, automatización e integración y, cohesión de las redes informáticas con los procesos físicos de la vida real a través de la aplicación de tecnologías como la Internet de las cosas (IoT), Blockchain, Mercados Electrónicos Móviles, Computación en la Nube (CC), Big Data, Minería de Datos, Inteligencia Artificial (IA), Vehículos Autónomos (VA), Vehículos Auto-Guiados (VAG), Realidad Aumentada (RA), formando así un Sistema Ciberfísico (SC). A saber:

**Internet de las Cosas.** Conocido como internet integrado o computación generalizada, proporciona comunicación y conexiones, en el espacio y el tiempo, entre todos los elementos del sistema. En la LI 4.0 para adquirir información sobre diferentes productos de forma rápida y precisa; para superar la incertidumbre de todos los atributos del producto; puede rastrear, recopilar, monitorear y analizar los datos en tiempo real, creando bases de datos que respaldan el proceso de toma de decisiones (Al-Shihmani, W. I. M., Ali Agha, M. S., & Masood, T., 2022; Xu Sun et al., 2022); adecuado para señalar el tiempo y la cantidad de recolección de desechos y administrar una gran cantidad de puntos de recolección en distancias geográficas mayores; para la optimización de inventarios; para la evaluación de alternativas de diseño para los productos al FDU/FVU, como para determinar las condiciones de los productos devueltos y decidir si deben ser desarticulados, remanufacturados, reciclados o desechados o aumentar el grado de utilización y RVP usados.

**Vehículos Autoguiados.** Implican el sistema de transporte y manejo de materiales de forma remota o autocontrolada con la ayuda de imanes, ondas de radio, láser y cámaras, operan por sí mismos sin ninguna intervención humana o con poca. En la LI 4.0 (Theofilos D. Mastos, et al., 2021), para el desplazamiento horizontal o vertical de la carga, transbordo, manipulación, almacenamiento /recuperación y preparación de pedidos dentro de los puntos de recogida de residuos, instalaciones de reciclaje (fabricación), instalaciones de eliminación o instalaciones de incineración de residuos; para procesos intralogísticos confiables y eficientes mediante la automatización y la mínima participación de personas; aumentan la productividad y la eficiencia al tiempo que reduce los costos y los requisitos de recursos humanos en las operaciones de transporte dentro de las redes de LI

**Inteligencia Artificial.** La IA es la capacidad de las computadoras para comportarse de una manera que requiere inteligencia y discernimiento, que son las características que generalmente se atribuyen a los humanos. En el área de la LI, para el diseño de redes, asistencia en la realización de procesos como recolección, clasificación, inspección, desmontaje, reciclaje, remanufactura, redistribución, enrutamiento de vehículos, pronóstico de devolución de productos; enrutamiento de vehículos, recolección de productos, transporte, almacenamiento, pronóstico de devolución, clasificación, inspección y procesamiento, así como para seleccionar las alternativas de reciclaje, reensamblaje y remanufactura (Theofilos D. Mastos, et al., 2021; Xu Sun et al., 2022). La IA puede mitigar los riesgos relacionados con el reprocesamiento de productos usados, proveedores y fabricación, ya que puede utilizarse para determinar la calidad de los productos, tanto nuevos como usados.

**Big Data.** Se refiere a conjuntos de datos con tal volumen y complejidad que las soluciones de software de procesamiento de datos tradicionales no pueden recopilarlos, administrarlos y procesarlos en un período de tiempo razonable, es necesario aplicar herramientas analíticas avanzadas, denominadas colectivamente minería de datos, para identificar patrones y tendencias actuales y anticipar cambios futuros (Al-Shihmani et al., 2022). En la LI, para la mejora de la calidad del servicio, en la toma de decisiones (estratégicas y tácticas), en la estimación del rendimiento de remanufactura, para la planificación de la red, en la planificación de puntos de recolección para múltiples productos y las conexiones entre ellos, en la predicción de devoluciones de productos y la estimación de la calidad de devolución, en la predicción de otras actividades inversas como evitar devoluciones, procesos de reparación y reciclaje (Xu Sun et al., 2022); para crear rutas de camiones recolectores de residuos según el tipo de residuos y las cantidades dentro de los contenedores de residuos. El análisis de datos puede permitir a las empresas mitigar los riesgos relacionados con el reprocesamiento de productos devueltos a proveedores, la fabricación y la distribución.



**Blockchain.** Tecnología integrada de múltiples bases pequeñas conocidos como bloques, compuestos de información sobre transacciones digitales y conectadas entre sí, formando cadenas de bloques; están inextricablemente vinculados por criptogramas, no es posible ningún cambio en los datos de las transacciones realizadas, incluida su eliminación, adición y cualquier acto de fraude. Esto hace que blockchain sea perfecto para permitir transacciones seguras de cualquier tipo y en cualquier sentido. En el sector de la LI (Theofilos D. Mastos, et al., 2021; Al-Shihmani et al., 2022).), para desarrollar contrataciones inteligentes entre todos los integrantes e interesados de la CS y de la red de LI, evitando así cualquier posible comportamiento fraudulento y brindando apoyo a los consumidores al momento de seleccionar un programa de pago adecuado; para establecer confianza, trazabilidad y transparencia en los procesos de la LI, como el reciclaje, la redistribución y la refabricación (Xu Sun et al., 2022); permite el establecimiento de un marco que integra la gestión de las relaciones con los proveedores con la gestión de las relaciones con los clientes como un medio para generar confianza en un entorno sin confianza (Zhiqi Wu & Zhiqi, 2022). Blockchain puede mitigar los riesgos relacionados con los productos devueltos con el reprocesamiento y los relacionados con la fabricación y la distribución. Todos los datos relevantes sobre las condiciones de los productos (nuevos y devueltos), la producción y el transporte se pueden guardar en la cadena de bloques, y todos los actores del SC pueden acceder a ellos e identificar cualquier error en la producción, el reprocesamiento o el transporte de sus productos.

**Mercados Electrónicos Móviles.** Son plataformas electrónicas que utilizan Internet y diversas tecnologías de dispositivos móviles inteligentes para realizar actividades comerciales. En la LI, permiten la desfragmentación del mercado, por tanto, facilitan la redistribución de los retornos al mercado, permiten el establecimiento de agregadores de rentabilidad, también permite el establecimiento de agregadores de devoluciones, cuyos proveedores manejan devoluciones de muchos usuarios diferentes, reuniendo así a proveedores y clientes, facilitando el contacto directo entre varias partes interesadas dentro de la cadena LI (Al-Shihmani et al., 2022). De igual forma, permiten el desarrollo de políticas justas de rentabilidad, el establecimiento de sistemas de información eficientes (Xu Sun et al., 2022). En efecto, el uso generalizado y de fácil acceso de dispositivos móviles inteligentes e Internet permite reducir la incertidumbre, los costos de tratamiento, la complejidad y el tiempo para procesar los productos devueltos comprados en los mercados electrónicos móviles, al tiempo que mejora la visibilidad, automatización y control de los procesos de devolución; permiten la identificación en tiempo real de los requisitos de flujo inverso, visibilidad en toda la cadena de retorno, la automatización de la adquisición de devoluciones, la creación de valor a través de un alto rendimiento y costos de transacción mínimos, el control efectivo del volumen de devoluciones, y la minimización de los factores de incertidumbre de los rendimientos.

**Fabricación Aditiva-Impresión 3D.** Tecnología utilizada en la fabricación de objetos tridimensionales mediante la aplicación sucesiva de capas de material o aditiva, permitiendo que la producción final se pueda realizar más cerca del punto de compra y/o consumo. Su apoyo en la LI radica porque gran parte de los flujos de retorno se pueden utilizar como materia prima para la producción de nuevos productos. El uso de productos devueltos como materias primas permite un suministro fiable, ininterrumpido e independiente ((Theofilos D. Mastos, et al., 2021; Al-Shihmani et al., 2022; Xu Sun et al., 2022), al tiempo que reduce significativamente los residuos, los efectos negativos de la producción y del transporte (emisión de gases, ruido y partículas, accidentes, etc.), esto significa menos interacciones con proveedores y menos viajes para organizar la producción y transporte de los productos.

**Robótica Avanzada.** Se refiere a la aplicación de robots, máquinas que realizan el trabajo que generalmente realizan las personas. Las principales razones para la aplicación de robots son su alta eficiencia, flexibilidad, confiabilidad y precisión (Giorgia Atzeni, Giuseppe Vignali, Letizia Tebaldi & Eleonora Bottani, 2021). En LI, los robots se pueden utilizar para la recolección y el transporte, así como para la clasificación, el desensamblaje, el almacenamiento y la recuperación de los productos devueltos dentro de varias instalaciones de las redes de LI (Al-Shihmani et al., 2022; Xu Sun et al., 2022); mitigan los riesgos relacionados con el reprocesamiento de productos devueltos y la fabricación. Pueden mejorar la eficiencia de los sistemas de producción y recuperación ayudando a los operadores a realizar actividades; pueden mejorar la seguridad de estos sistemas al usarse para realizar las partes más onerosas de las tareas en lugar de dejarlas en manos de los operadores ya que están diseñados para el trabajo colaborativo directo con un operador humano.

## Comentarios

La LI 4.0 es un aspecto inherente que se refiere a la implementación de tecnologías disruptivas de Industria 4.0 en LI con hincapié en la comunicación y la conectividad basadas en Internet/5G de diferentes dispositivos inteligentes y elementos cibernéticos, que permiten la recopilación de datos en tiempo real, el control autónomo del sistema y la interacción efectiva hombre-máquina allanando el camino para nuevos modelos comerciales, reduciendo la generación de residuos y mejorando la utilización del material mediante la adopción procesos inteligentes. Es decir, la LI 4.0 es la gestión sostenible de todos los flujos y actividades relevantes para la RVP y/o la eliminación adecuada de productos al FDU/FVU mediante el empleo de herramientas, datos y servicios innovadores basados en tecnologías disruptivas de la I4.0.

De hecho, la LI 4.0 enfatiza el uso de datos y tecnologías inteligentes para realizar servicios innovadores de la LI y lograr la armonía entre los tres pilares del desarrollo sostenible, incluida la eficacia económica, el respeto por el medio ambiente y la responsabilidad social. Los cinco procesos principales de la LI tradicional o convencional, es decir, la recolección de productos al FDU/FVU, la clasificación y el preprocesamiento, el transporte, la RVP mediante la refabricación y el reciclaje, y la eliminación, se verán afectados por la adopción de tecnologías disruptivas de la LI 4.0. En consecuencia, los cinco principales procesos de la LI 4.0 serán recolección inteligente; clasificación inteligente y gestión de procesos; remanufactura y reciclaje inteligente; transporte y distribución inteligente; eliminación inteligente.

En efecto, la recolección de productos al FDU/FVU y otros tipos de desechos en horarios y rutas fijas generalmente conduce al uso ineficiente de los recursos, alto consumo de combustible, bajo nivel de servicio, y al tratarse de desechos biodegradados en la acumulación de bacterias de malos olores y propagación de enfermedades. Con el apoyo de la LI 4.0 este problema se puede solucionar con el uso de contenedores inteligentes integrados con sensores IoT para monitorear y proporcionar información en tiempo real sobre sus niveles de llenado y ubicaciones, optimizando rutas de recolección y actualizando digitalmente el sistema para la recopilación de productos al FDU/FVU. De igual forma, con el apoyo de una red neuronal inteligente, se pueden aprender y predecir los patrones de generación de desechos y enviar notificaciones oportunas al personal adecuado a través de un sistema de mensajería en la Nube.

En lo que respecta a la compleja composición y calidad de los productos al FDU/FVU en el flujo logístico inverso, la clasificación es un proceso semiautomatizado y laborioso, en el que los diferentes materiales reciclables deben ser recogidos y separados manualmente por trabajadores humanos, quienes se exponen a sustancias peligrosas y al duro entorno de trabajo poniendo en riesgo la salud. La Inteligencia Artificial y los sistemas basados en Realidad Aumentada han empoderado robots inteligentes con capacidad de reconocer y separar, con alta precisión, diferentes tipos de materiales reciclables (aluminio, plástico, cobre, etc.) de productos al FDU/FVU, mostrado gran potencial para convertirse en el punto de inflexión en las operaciones de LI.

De hecho, las tecnologías disruptivas de la I4.0 también pueden ayudar a gestionar de manera más eficaz diferentes procesos: la integración e identificación de extremo a extremo por radiofrecuencia (RFID), Bluetooth de Baja Energía (BBE), sensores inteligentes IoT, contenedores inteligentes y con puerta de enlace híbrida en un Sistema Ciberfísico en red permite obtener información en tiempo real recopilada de varios procesos de la LI, es decir, identificación, clasificación, información local e información global del producto devuelto, que puede utilizarse para un mejor control de inventario y la gestión ambiental de todo el flujo logístico de retorno o devolución. Finalmente, el análisis Big Data ayudará a maximizar la recuperación de valor de los productos al FDU/FVU a través de una mejor información sobre tiempos de producción específicos y opciones en la LI. El uso de la información del producto y los datos del sistema en tiempo real como entradas dinámicas para los modelos de optimización maximizarán la eficacia y la utilización de recursos a través de una planificación de producción mejorada y más flexible para la refabricación.

Además, el desensamblaje inteligente basado en Big Data reducirá el daño durante el desmontaje y/o desensamblaje del producto, mejorando la calidad y la previsibilidad de los productos remanufacturados; la calidad y la eficacia del servicio de mantenimiento y la restauración de la funcionalidad en la refabricación, previo al proceso de desmontaje del producto, mejorarán con el apoyo de la Realidad Aumentada, y con el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones) que monitorearan el proceso de remanufactura en tiempo real.

## Conclusiones

El problema de la eliminación de residuos no solo está relacionado con la eliminación de estos en el lugar adecuado, sino que también está asociado con la reducción del volumen de eliminación, problemas de seguridad y limpieza. Aunque se recicle una cantidad cada vez mayor de productos al FDU/FVU, las plantas de incineración y los vertederos siguen siendo los destinos finales de los no reciclables en los flujos logísticos inversos o de la LI, donde se pueden usar robots inteligentes para reemplazar a los trabajadores humanos en entornos de trabajo difíciles.

Los sistemas inteligentes habilitados para IoT ayudarán a monitorear los indicadores clave de rendimiento y controlar de forma remota y en tiempo real las diferentes operaciones. El vertedero de residuos sólidos genera gases de vertedero y líquidos peligrosos de alta densidad, llamados lixiviados, los cuales tienen impactos ambientales significativamente negativos, por lo tanto, necesitan ser tratados adecuadamente. Para gestionar mejor los problemas de lixiviados, un sistema IoT basado en la Nube puede desempeñar un papel importante en la conexión de los datos de campo relevantes con los modelos matemáticos respectivos para analizar varios parámetros clave, es decir, turbidez, sólidos suspendidos y oxígeno disuelto, para su eliminación inteligente.

La transformación inteligente y sostenible de la LI tradicional o convencional hacia la LI 4.0 representa de manera concisa la unión de las cadenas de valor tanto físicas como digitales. Por un lado, una cadena de valor física ilustra la aplicación y los impactos de estas tecnologías disruptivas tanto a nivel interorganizacional como interorganizacional. Por otro lado, una cadena de valor digital evalúa los impactos a largo plazo en los patrones de valor agregado y recuperación de valor de productos al FDU/FVU desde un punto de vista tecnológico.

La LI 4.0 se considerará inteligente cuando tenga la capacidad de comunicarse y transmitir información de forma autónoma sobre la organización a los responsables de la gestión de retornos y/o devoluciones. La LI 4.0 utiliza sistemas basados en IoT, vehículos autoguiados, inteligencia artificial, big data, blockchain, mercados electrónicos móviles, impresión 3D, drones, robótica avanzada, gemelos digitales, radiofrecuencia (RFID) y Bluetooth de Baja Energía para la recolección de productos al FDU/FVU, para su clasificación, el preprocesamiento, transporte, la RVP mediante la refabricación y el reciclaje y para su eliminación; minimizando el costo de sus redes de recuperación/devolución, al mismo tiempo aumentando su sostenibilidad y transformándose gradualmente en una EC.

Cuando las materias primas, los productos finales, los repuestos y los productos devueltos que no se entregan cuando deben entregarse o recolectarse, significa que los fabricantes no producirán, los clientes no estarán satisfechos, las actividades de reprocesamiento no estarán operativas y los flujos logísticos inversos carecerán de valor.

Declaración sobre conflicto de interés. La autora del presente documento manifiesta ser independiente con respecto a instituciones financiadoras y de apoyo, y que durante la redacción del manuscrito no ha recibido ningún tipo de financiamiento y no ha incidido intereses o valores distintos a los que usualmente tiene la investigación.

### **Declaración sobre conflicto de interés:**

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés sobre el artículo.

## Referencias Bibliográficas

- Abhijeet Ghadge, D.G. Mogale, Michael Bourlakis, Lohithaksha M. Maiyar & Hamid Moradlou. (2022). Link between Industry 4.0 and green supply chain management: Evidence from the automotive industry, *Computers & Industrial Engineering*,  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108303>
- Akkad, M.Z., Bányai, T. (2021). Applying Sustainable Logistics in Industry 4.0 Era. In: Jármai, K., Voith, K. (eds) *Vehicle and Automotive Engineering 3 VAE. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-98-29-1-15-9529-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-98-29-1-15-9529-5_19)
- Al -Shihmani, W. I. M., Ali Agha, M. S., & Masood, T. (2022). Reverse Supply chains in Industry 4.0. ented chains in Industry 4.0. Paper presented at 29 th International European Operations Management Association Annual Conference, Germany.  
[https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/138151731/Al\\_Shihmani\\_et\\_al\\_Eu\\_roma\\_2022\\_Reverse\\_supply\\_chains\\_in\\_Industry\\_4.0.pdf](https://pure.strath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/138151731/Al_Shihmani_et_al_Eu_roma_2022_Reverse_supply_chains_in_Industry_4.0.pdf)
- Ana Beatriz Lopes de Sousa Jabbour, Charbel Jose Chiappetta Jabbour, Tsan - Ming Choi & He Choi & Hengky Latan. (2022). Better together : Evidence on the joint adoption of circular economy and industry 4.0 technologies, *International Journal of Production Economics*, Volumen 252,  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108581>
- Bag, Surajit; Yadav, Gunjan; Wood, Lincoln C.; Dhamija, Pavitra; Joshi, Sudhanshu. (2020). Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics. *Resources Policy*, 101776.  
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101776>
- Cagno, Enrico, Alessandra Neri, Marta Negri, Carlo Andrea Bassani & Tommaso Lampertico. (2021). The Role of Digital Technologies in Operationalizing the Circular Economy Transition: A Systematic Literature Review *Applied Sciences* 11, no. 8: 3328.  
<https://doi.org/10.3390/app11083328>
- Dhirendra Prajapati, Saurabh Pratap, Mengdi Zhang, Lakshay & George Q. Huang. (2022). Sustainable forward-reverse logistics for multi-product delivery and pickup in B2C E-commerce towards the circular economy, *International Journal of Production Economics*, Volumen 253,  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108606>
- Emilia Taddei, Claudio Sassanelli, Paolo Rosa & Sergio Terzi. (2022). Circular supply chains in the era of industry 4.0: A systematic literature review, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 170,  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108268>
- Giorgia Atzeni, Giuseppe Vignali, Letizia Tebaldi & Eleonora Bottani. (2021). A bibliometric analysis on collaborative robots in Logistics 4.0 environments, *Procedia Computer Science*, Volume 180,  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.291>
- Hannan Amoozad Mahdiraji, Fatemeh Yafthyan, Aliasghar Abbasi - Kamardi & Jose Arturo Garza - Reyes. (2022). Investigating potential interventions on disruptive impacts of Industry 4.0 technologies in circular supply chains: Evidence from SMEs of an emerging economy, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 174,  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108753>

- Khan, S.A., Laalaoui, W., Hokal, F., Tareq, M. & Ahmad, L. (2022). Connecting reverse logistics with circular economy in the context of Industry 4.0, *Kybernetes*, Vol. ahead-of-print No. ahead -of-print.  
<https://doi.org/10.1108/K-03-2022-0468>
- Konstantinos Voulgaridis, Thomas Lagkas & Panagiotis G. Sarigiannidis. (2022). Towards Industry 5.0 and Digital Circular Economy: Current Research and Application Trends, Conference: 2022 18th Internationale on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS) <https://doi.org/10.1109/DCOSS54816.2022.00037>
- Krstić, Mladen, Giulio Paolo Agnusdei, Pier Paolo Miglietta, Snežana Tadić & Violeta Roso. (2022). Applicability of Industry 4.0 Technologies in the Reverse Logistics: A Circular Economy Approach Based on COMprehensive Distance Based Ranking (COBRA) Method, *Sustainability* 14, no. 9: 5632.  
<https://doi.org/10.3390/su14095632>
- Lars Kintscher, Sebastian Lawrenz, Hendrik Poschmann, & Priyanka Sharma. (2020). Recycling 4.0 - Digitalization as a Key for the Advanced Circular Economy, *Journal of Communications* Vol. 15, No. 9, September, Page 652  
<https://doi.org/10.12720/jcm.15.9.652-660>
- Marco Simonetto, Fabio Sgarbossa, Daria Battini & Kannan Govindan.(2022). Closed loop supply chains 4.0: From risks to benefits through advanced technologies. A literature review and research agenda, *International Journal of Production Economics*, Volumen 253,  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108582>
- Marta Starostka-Patyk & Paulina Grunt. (2022) Future ICT trends as the opportunity for reverse logistics support, *Procedia Computer Science*, Volume 207, Pages 4401-4408,  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.503>
- Marta Starostka-Patyk. (2021). The use of information systems to support the management of reverse logistics processes, *Procedia Computer Science*, Volume 192, Pages 2586 - 2595 ,  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.028>
- Mehmet Ali Ilgin. (2021). DEMATEL -Based Analysis of the Factors Hindering the Effective Use of Industry 4.0 Technologies in Reverse Logistics, Chapter 10, In: *Sustainable Production and Logistics, Modeling and Analysis*, Edited by Eren Özceylan, Surendra M. Gupta, 1st Edition, Pages 418  
<https://doi.org/10.1201/9781003005018>
- Navin K. Dev, Ravi Shankar & Fahham Hasan Qaiser. (2020). Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 153,  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104583>
- Pamal R. Nanayakkara, Madushan Madhava Jayalath, Amila Thibbotuwawa & H. Niles Perera. (2022). A circular reverse logistics framework for handling e-commerce returns, *Cleaner Logistics and Supply Chain*, Volumen 5,  
<https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.1000880>
- Praveen Kumar Reddy Maddikunta, Quoc-Viet Pham, Prabadevi B, N Deepa, Kapal Dev, Thippa Reddy Gadekallu, Rukhsana Ruby & Madhusanka Liyanage. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications, *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 26,

<https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>

Stephen Pettit, Yingli Wang & Anthony Beresford. (2022). The impact of digitalization on contemporary and future logistics, Chapter 7, In: The Digital Supply Chain, Editor(s): Bart L. MacCarthy, Dmitry Ivanov, Pages 111-125, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91614-1.00007-1>

Surajit Bag, Gunjan Yadav, Lincoln C. Wood, Pavitra Dhamija & Sudhanshu Joshi. (2020). Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics, Resources Policy, Volume 68 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101776>

Theofilos D. Mastos, Alexandros Nizamis, Sofia Terzi, Dimitrios Gkortzis, Angelos Papadopoulos, Nikolaos Tsagkalidis, Dimosthenis Ioannidis, Konstantinos Votis, Dimitrios Tzouvaras. (2021). Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management, Journal of Cleaner Production, Volume 300, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126886>

Umar, M., Khan, S.A.R., Zia -ul-haq, H.M., Yuzliza, M.Y. & Farooq, K. (2022). The role of emerging technologies in implementing green practices to achieve sustainable operations, The TQM Journal, Vol. 34 No. 2, pp. 232-249. <https://doi.org/10.1108/TQM-60-2021-0172>

Xiaoyu Yan, Weihua Liu, Ming K. Lim, Yong Lin & Wanying Wei. (2022). Exploring the factors to promote circular supply chain implementation in the smart logistics ecological chain, Industrial Marketing Management, Volume 101, Pages 57-70, <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.11.015>