

Análisis Teórico de la Optimización del Ciclo de Vida de Materiales mediante Tecnologías de Inteligencia Artificial y Big Data: Estrategias de Reutilización en la Economía Circular

Theoretical Analysis of Life Cycle Optimization of Materials Using Artificial Intelligence and Big Data Technologies: Reuse Strategies in the Circular Economy

Ing. Julio Andres Silva Aragon¹, Omaira Manzano Duran², Yolanda Gonzalez Castro³

¹ Grupo de investigación GRINDES, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pamplona, Colombia, Orcid <https://orcid.org/0009-0000-4086-0652>, Email: Julio.silva@unad.edu.co.

² Grupo de investigación GRINDES, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pamplona, Colombia, Orcid <https://orcid.org/0000-0002-2715-8903>, Email: omaira.manzano@unad.edu.co.

³ Grupo de investigación GRINDES, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pamplona, Colombia, Orcid <https://orcid.org/0000-0002-9497-7132>, Email: yolanda.gonzalez@unad.edu.co.

Cómo citar: Silva Aragon, J. A., Manzano Duran, O., & Gonzalez Castro, Y. (2024). Análisis Teórico de la Optimización del Ciclo de Vida de Materiales mediante Tecnologías de Inteligencia Artificial y Big Data: Estrategias de Reutilización en la Economía Circular. *Revista Científica Profundidad Construyendo Futuro*, 21(21), 123–138. <https://doi.org/10.22463/24221783.4543>

Recibido: 31 de enero de 2024 / **Aprobado:** 26 de abril de 2024

Resumen

El presente estudio enfatiza la revolución que supone la integración de la Inteligencia Artificial (IA) y Big Data en la sostenibilidad y eficiencia de recursos. Estas tecnologías mejoran la gestión de materiales y fomentan estrategias innovadoras de reutilización, esenciales para la transición hacia una economía circular. El estudio emplea un enfoque cualitativo de tipo teoría fundamentada implementando técnicas como revisión de literatura y análisis de documentos. En los resultados se destaca la necesidad de un enfoque multidisciplinario en la integración de tecnologías avanzadas, combinando habilidades técnicas con una comprensión profunda de los modelos de negocio y dinámicas del mercado, la educación y formación continua en IA y Big Data, así como la colaboración entre empresas, instituciones educativas y entidades gubernamentales son fundamentales para fomentar la innovación y adopción de estas tecnologías en la economía circular. Finalmente, se concluye sobre la importancia de integrar tecnologías avanzadas en la gestión de materiales y la necesidad de un enfoque holístico que combine innovaciones tecnológicas con cambios en modelos de negocio y prácticas de gestión, enfatizando la colaboración interdisciplinaria y la adaptación a contextos específicos para enfrentar los desafíos de sostenibilidad.

Palabras claves: Economía Circular, Inteligencia Artificial (IA), Big Data, Sostenibilidad, Gestión de Materiales, Inteligencia de Negocios (BI), Estrategias de Reutilización, Modelos de Negocio Sostenibles.

Abstract

This study emphasizes the revolution represented by the integration of Artificial Intelligence (AI) and Big Data in sustainability and resource efficiency. These technologies improve materials management and foster innovative reuse strategies, essential for the transition to a circular economy. The study uses a qualitative grounded theory approach implementing techniques such as literature review and document analysis. The results highlight the need for a



*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: Julio.silva@unad.edu.co

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Artículo bajo licencia CC BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

multidisciplinary approach in the integration of advanced technologies, combining technical skills with a deep understanding of business models and market dynamics, continuous education and training in AI and Big Data, as well as collaboration between companies, educational institutions and government entities are essential to promote innovation and adoption of these technologies in the circular economy. Finally, we conclude on the importance of integrating advanced technologies in materials management and the need for a holistic approach that combines technological innovations with changes in business models and management practices, emphasizing interdisciplinary collaboration and adaptation to specific contexts to face sustainability challenges.

Key words: Circular Economy, Artificial Intelligence (AI), Big Data, Sustainability, Materials Management, Business Intelligence (BI), Reuse Strategies, Sustainable Business Models.

1. Introducción

En la actualidad, la acumulación de desechos y el agotamiento de recursos naturales han emergido como desafíos centrales para la sostenibilidad ambiental, la necesidad de transitar hacia prácticas de producción y consumo sostenibles es imperativa, en este contexto, el concepto de "Economía Circular" gana prominencia, enfatizando la importancia del cierre del ciclo de vida de los materiales para maximizar su uso y minimizar los desechos, sin embargo, la implementación efectiva de modelos circulares de negocio es compleja y requiere de la innovación tecnológica para su materialización.

La Inteligencia Artificial (IA), el Big Data y la Inteligencia de Negocios (BI por sus siglas en inglés) surgen como herramientas transformadoras capaces de analizar grandes volúmenes de datos y generar insights que pueden conducir a la optimización de la reutilización de desechos y productos, estas tecnologías permiten identificar patrones ocultos en el consumo de recursos, predecir la vida útil de los productos y facilitar la toma de decisiones estratégicas que promueven la eficiencia y la innovación en la gestión de materiales.

En este artículo, exploramos cómo la integración de IA, Big Data y BI puede revolucionar la reutilización de desechos y productos, conduciendo hacia un modelo económico más resiliente y sostenible,

discutiendo las oportunidades y desafíos asociados con estas tecnologías, además de presentar casos de estudio donde su aplicación ya está generando impactos positivos, a través de este análisis, proporcionamos una visión comprensiva sobre el potencial de estas herramientas tecnológicas en el cierre del ciclo de materiales y en el avance hacia un futuro más sostenible.

2. Marco Teórico

Integración de Inteligencia Artificial y Big Data en la Gestión de Materiales

La integración de la inteligencia artificial (IA) y el Big Data en la gestión del ciclo de vida de los materiales representa una revolución en el campo de la sostenibilidad y la eficiencia de recursos, como Sousa y Rocha (2019) señala, que las tecnologías emergentes no solo incrementan la eficiencia en la gestión, sino que también catalizan el desarrollo de estrategias más innovadoras, jugando un papel crucial en la transición hacia modelos que inspiran y motivan a los empleados para que adopten nuevas tecnologías y formas de trabajar, la (IA) y el Big Data, al permitir un análisis más profundo y una mejor comprensión de grandes conjuntos de datos, facilitan la identificación de patrones y tendencias que pueden ser cruciales para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de recursos.

Además, Ametller (2019) explora cómo el avance tecnológico y la transformación digital, particularmente en áreas como la IA y el Big Data, están redefiniendo los procesos normativos y reglamentarios, estos cambios pueden tener implicaciones significativas no solo en la gestión de materiales sino también en la sostenibilidad ambiental, ya que abre nuevas posibilidades para la regulación y el control de los procesos industriales y de gestión de residuos, asegurando que sean más sostenibles y eficientes.

La reutilización y la economía circular emergen como conceptos clave en este nuevo panorama. Betancourt Morales y Zartha Sossa (2020) ofrecen una perspectiva integral de la economía circular en América Latina, destacando la importancia de adaptar estos modelos a diferentes contextos culturales, económicos y geográficos; Su investigación demuestra que la economía circular no es solo una política medioambiental, sino también una estrategia económica viable que puede adaptarse a diversas realidades nacionales y regionales.

De manera similar, Hamam et al. (2021) exploran los modelos de economía circular en los sistemas agroalimentarios, demostrando cómo estos conceptos se pueden aplicar más allá de la industria manufacturera tradicional, su trabajo resalta la importancia de cerrar los ciclos de producción y consumo en todos los sectores para reducir los residuos y mejorar la eficiencia.

Hay que entender que la sinergia entre la IA y el Big Data ofrece un potencial enorme para mejorar la eficiencia en la utilización de materiales y promover la sostenibilidad ambiental y económica, donde es importante comprender que estas tecnologías no solo optimizan los procesos existentes, sino que también abren la puerta a nuevas formas de pensar y abordar los desafíos del desarrollo sostenible, su aplicación en la economía circular,

particularmente en la gestión de recursos y reutilización, puede desempeñar un papel transformador, llevando a la sociedad hacia un futuro más sostenible y resiliente.

Importancia de la Reutilización en la Economía Circular

La reutilización de materiales se ha identificado como un componente esencial en el modelo de economía circular Arias-Meza et al. (2023), indica que este enfoque no solo ayuda a reducir el desperdicio y la demanda de recursos naturales, sino que también promueve un desarrollo más sostenible, en el contexto de la moda, destacando la importancia de estrategias sostenibles en la producción y el ciclo de vida de los productos, subrayando cómo la reutilización puede mitigar la contaminación y mejorar las condiciones de trabajo en la industria.

Por otro lado, el tratamiento adecuado y la gestión de los Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos (WEEE) es un desafío global significativo. Según Franz y da Silva (2022), la rápida tasa de crecimiento de estos residuos, combinada con su disposición incierta, presenta riesgos para la salud humana y el medio ambiente, los autores argumentan que la adopción de prácticas de economía circular en la gestión de WEEE es esencial para una gestión sostenible de los residuos.

Gil-Lamata y Latorre-Martínez (2022) aportan una revisión sistemática sobre la economía circular y la sostenibilidad, destacando la creciente atención hacia modelos de negocio circulares, sugiriendo que el desarrollo de herramientas para facilitar la implementación de la economía circular es crucial, particularmente en un momento en que el interés académico y empresarial en estas prácticas está en aumento.

El argumentar nos indica, que la reutilización en la economía circular no solo es fundamental para reducir el desperdicio y la demanda de recursos naturales, sino que también es clave para fomentar un desarrollo más sostenible. En sectores como la moda y la gestión de RAEE, la reutilización de materiales puede mitigar significativamente el impacto ambiental. Además, la transición hacia modelos de negocio circulares, como se discute en la literatura, es esencial para una gestión más eficiente y sostenible de los recursos, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y promoviendo un cambio hacia un consumo y producción más responsables.

Desafíos y Oportunidades en la Era de la Digitalización

La era de la digitalización presenta desafíos y oportunidades significativos para las economías globales, especialmente en la adopción de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y el big data, estas tecnologías son cruciales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de materiales, como la industria de la moda, por ejemplo, es uno de los sectores que más contamina globalmente, donde la producción excesiva impulsada por la alta demanda de productos contribuye significativamente a la contaminación por químicos, la contaminación del agua y la generación de residuos sólidos (Arias-Meza et al., 2023).

Los desafíos ambientales como la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) han crecido tres veces más rápido que la población mundial y un 13% más que el Producto Interno Bruto (PIB) global. Solo el 17.4% de estos residuos se trata adecuadamente, y su disposición incierta representa riesgos para el medio ambiente y la salud humana (Franz & da Silva, 2022). La transición de una economía lineal a una circular es de interés clave en

campos empresariales y académicos relevantes, aunque la investigación teórica y empírica ha sido limitada hasta hace poco (Gil-Lamata & Latorre-Martínez, 2022).

Por otro lado, en el sector de la salud, el rápido desarrollo de tecnologías modernas ofrece soluciones convenientes y eficientes para implementar sistemas de Registros de Salud Electrónicos (EHRs), donde los grandes conjuntos de datos de atención médica, su complejidad y naturaleza dinámica han planteado desafíos severos asociados con el análisis, preprocesamiento, privacidad, seguridad, almacenamiento y el intercambio de datos (Zukaib et al., 2023).

La digitalización para la sostenibilidad del agua es otro aspecto crucial. 'Agua limpia y saneamiento' es uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, y la implementación de principios de economía circular en el sector del agua ha sido considerada como un enfoque importante para lograr este objetivo (Liu, Yang, & Yang, 2021), como pilar principal la cual es la economía colaborativa o la economía de compartir entre pares es un concepto multifacético de creciente relevancia, enfocándose en la contradicción tradicional entre trabajo y capital y analizando el concepto de "colaboración" como una traducción de "compartir" (Carrión, 2022).

El papel de las nuevas tecnologías, como la fabricación aditiva y la tecnología blockchain, en el diseño e implementación de ecosistemas de economía circular no es un tema trivial (Ferreira et al., 2023), la economía circular en la Unión Europea, la práctica organizativa y las direcciones futuras en países miembros como Polonia, España y Alemania cubren temas que incluyen la implementación de CE en la UE y en todo el mundo, y el comportamiento ecológico de los empleados, y es la transformación digital en situaciones de crisis un tema crucial que se

deben analizar con mayor profundidad (Bohorquez-Lopez, 2022).

La era de la digitalización presenta tanto desafíos como oportunidades significativas y la adopción de tecnologías avanzadas en diversos sectores puede mejorar la eficiencia y sostenibilidad, aunque también conlleva retos significativos relacionados con la gestión ambiental, la salud, la economía circular y la respuesta a crisis.

3. Metodología

Enfoque Cualitativo

El enfoque cualitativo se utiliza para comprender las experiencias y perspectivas de los actores clave del sector turístico de naturaleza en Colombia. Este enfoque permite recopilar datos ricos y detallados que pueden ayudar a identificar las necesidades y oportunidades para la implementación de tecnologías de reutilización.

Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos utilizadas en esta investigación incluyen: Revisión de literatura según (Molina y Collado, 2022). Identificación de materiales y productos reutilizables según (Martínez y Moreno, 2021). Análisis de documentos y talleres según (Reyes y Díaz, 2019).

Análisis de Datos

Los datos recopilados a través de las técnicas mencionadas anteriormente se analizarán utilizando el método de teoría fundamentada. Este método se utiliza para desarrollar una teoría que explique los fenómenos sociales a partir de los datos recopilados.

Etapas de la Investigación

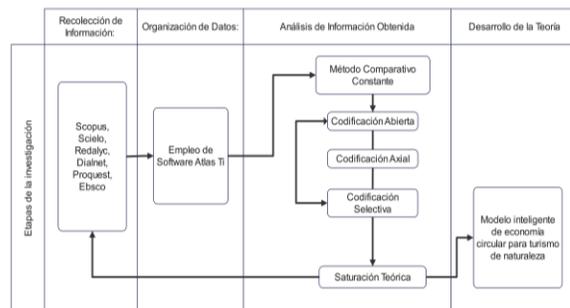


Figura 1. Etapas de la Investigación. **Nota.** Se utilizó un enfoque cualitativo, incluyendo métodos como el Método Comparativo Constante y diversas formas de codificación, para desglosar y comprender la información.

Recolección de Información

La fase inicial de la investigación implicó una recolección de datos meticulosa y estratégica.

Implementación de Técnicas de Recolección de Datos: Se realizaron búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas como Scopus y Scielo para recoger información relevante.

Esta etapa fue crucial para asegurar que los datos recopilados fueran pertinentes y actuales, proporcionando una base sólida para la investigación.

Documentación y Registro de Datos: Todos los datos recogidos se documentaron meticulosamente. Se mantuvo un enfoque riguroso en la precisión para garantizar la fiabilidad y la relevancia de la información recopilada, facilitando así su análisis posterior.

Organización de Datos

Tras la recolección, se procedió a la organización y preparación de los datos para su análisis y estructuración de la Información Recopilada: Se utilizó software especializado,

como Atlas Ti, para organizar sistemáticamente los datos. Esta herramienta permitió clasificar y categorizar la información, lo que facilitó su análisis y entendimiento.

Preparación para el Análisis: Los datos fueron clasificados en categorías pertinentes, esta organización meticulosa fue un paso fundamental para un análisis eficaz, permitiendo una evaluación más sistemática y estructurada de los datos.

Análisis de Información Obtenida

El análisis de los datos recopilados y organizados fue una etapa clave de la investigación en el Análisis Cualitativo: Se adoptaron métodos cualitativos como el Método Comparativo Constante y diversas formas de codificación (abierta, axial, selectiva) para analizar los datos.

Estas técnicas permitieron desglosar y comprender profundamente la información recogida. Para la búsqueda de Patrones y Conexiones: Se identificaron patrones, tendencias y conexiones en los datos, con el objetivo de alcanzar la saturación teórica. Este proceso permitió identificar los aspectos más significativos y recurrentes en los datos, aportando una comprensión profunda de los temas investigados.

Desarrollo de la Teoría

La fase final del proceso de investigación se centró en el desarrollo y refinamiento de una teoría en donde la síntesis de los Resultados del Análisis: Los resultados del análisis fueron sintetizados para formular una teoría coherente. En este caso, se enfocó en desarrollar un modelo de economía circular inteligente aplicado al turismo de naturaleza.

Refinamiento y Validación de la Teoría: La teoría desarrollada se sometió a un proceso

continuo de refinamiento y validación. Se comparó con literatura existente y se evaluó críticamente para asegurar su validez y aplicabilidad en el contexto de turismo de naturaleza.

4. Resultados

Integración de Tecnologías Avanzadas en Negocios Disruptivos

Sousa y Rocha (2019) se adentra en la esfera de los negocios disruptivos, destacando cómo las habilidades de la gestión de gobierno TI de la empresa y con la integración de la inteligencia artificial (IA) y el Big Data se ha convertido en un pilar fundamental para la innovación y la optimización en diversos sectores, este enfoque es particularmente relevante en el contexto de la economía circular, donde la optimización del ciclo de vida de los materiales se presenta como un desafío crítico.

La investigación resalta que la adopción de estas tecnologías no solo depende de la disponibilidad de herramientas avanzadas, sino también de la presencia de habilidades específicas y un enfoque estratégico, dependiendo de la capacidad de analizar grandes volúmenes de datos y extraer insights valiosos es crucial para identificar oportunidades de reutilización y reciclaje de materiales, así como para predecir tendencias y patrones de consumo, además como, la IA puede desempeñar un papel clave en la automatización y mejora de procesos, desde la recolección y clasificación de materiales hasta su reintegración en nuevos ciclos productivos.

La integración efectiva de estas tecnologías requiere un enfoque multidisciplinario que combine conocimientos técnicos con una comprensión profunda de los modelos de negocio y las dinámicas del mercado, como los profesionales deben estar equipados con

habilidades en análisis de datos, programación, y comprensión de sistemas de IA, junto con una visión estratégica para implementar soluciones que no solo sean técnicamente viables, sino también económicamente rentables y sostenibles.

Este estudio subraya la importancia de la educación y la formación continua en el campo de la IA y el big data, así como la necesidad de un liderazgo visionario que pueda guiar la transformación digital en las organizaciones, la colaboración entre empresas, instituciones educativas y entidades gubernamentales es fundamental para desarrollar un ecosistema que fomente la innovación y la adopción de estas tecnologías en la economía circular.

Influencia del Marco Regulatorio en la Transformación Digital

Ametller (2019) aborda un aspecto crucial en la adopción de tecnologías digitales: el marco regulatorio. El estudio analiza cómo las regulaciones existentes pueden influir en la implementación y el desarrollo de soluciones basadas en IA y big data, especialmente en el contexto de la economía circular.

El proceso de formulación de normas en respuesta al avance tecnológico es complejo y multifacético, es decir que las regulaciones deben equilibrar la promoción de la innovación con la protección de intereses públicos, como la seguridad, la privacidad y la sostenibilidad ambiental, en el ámbito de la economía circular, esto implica crear un entorno regulatorio que no solo permita, sino que también incentive la reutilización y reciclaje de materiales a través de tecnologías avanzadas.

Ametller destaca la necesidad de regulaciones que sean flexibles y adaptables, capaces de evolucionar junto con los avances tecnológicos, esto es particularmente importante en el campo

de la IA y el Big Data, donde el ritmo de innovación es rápido y las aplicaciones son diversas, un marco regulatorio bien diseñado puede facilitar la experimentación y la adopción de nuevas tecnologías, al tiempo que garantiza que se aborden los riesgos y desafíos asociados.

El estudio también señala la importancia de la colaboración internacional en la formulación de normas, dado el alcance global de la economía digital, y es que las regulaciones deben considerar las diferencias culturales y económicas, al tiempo que buscan establecer estándares y prácticas comunes que puedan ser adoptadas a nivel mundial.

Finalmente, Ametller subraya el papel de los stakeholders en el proceso regulatorio, es importante la participación activa tanto de empresas como los consumidores, académicos y legisladores lo cual es esencial para desarrollar un marco regulatorio que sea efectivo, justo y propicio para el avance de la economía circular, este enfoque colaborativo puede ayudar a garantizar que las regulaciones no solo respondan a las necesidades actuales, sino que también sean resilientes y relevantes ante los desafíos futuros.

Aplicación Regional de la Economía Circular

Betancourt Morales y Zарtha Sossa (2020) sobre la economía circular en América Latina ofrece una visión integral de cómo esta filosofía de sostenibilidad se está implementando en un contexto regional específico, donde la investigación destaca la importancia de adaptar las estrategias de economía circular a los contextos culturales y económicos únicos de América Latina, una región con una diversidad significativa en términos de desarrollo económico, políticas gubernamentales y condiciones sociales.

La economía circular, que se centra en la reutilización, el reciclaje y la reducción del

desperdicio, requiere un enfoque adaptado a las realidades locales para ser efectiva, y más en América Latina, esto implica considerar factores como la infraestructura existente para el manejo de residuos, las políticas gubernamentales en materia de sostenibilidad y reciclaje, y la conciencia y participación de la comunidad en iniciativas de economía circular.

El estudio de Betancourt Morales y Zарtha Sossa resalta varios casos de éxito en la región, donde se han implementado prácticas de economía circular adaptadas a las necesidades y recursos locales. Estos casos incluyen iniciativas de reciclaje comunitario, programas de gestión de residuos en ciudades y proyectos de economía circular en la industria, donde es importante realizar estudio que permitan identificar los desafíos y barreras que enfrenta la región en la implementación de la economía circular, como la falta de inversión en infraestructura, la necesidad de mayor educación y conciencia pública, y la necesidad de políticas gubernamentales más fuertes y coherentes.

Este enfoque regional es crucial para comprender cómo las estrategias de economía circular pueden ser efectivamente adaptadas y aplicadas en diferentes partes del mundo, la investigación sugiere que para lograr una implementación exitosa de la economía circular en América Latina, es necesario un enfoque colaborativo que involucre a gobiernos, empresas y comunidades, así como la adaptación de las prácticas de economía circular a las realidades locales.

Modelos Circulares en el Sector Agroalimentario

Hamam et al. (2021) se enfoca en la aplicación de modelos de economía circular en el sector agroalimentario, un área crítica para la sostenibilidad global. Este sector, que abarca desde la producción agrícola hasta el

procesamiento y distribución de alimentos, enfrenta desafíos únicos en términos de gestión de residuos, uso eficiente de recursos y minimización del impacto ambiental.

El estudio destaca cómo la economía circular puede ofrecer soluciones innovadoras para estos desafíos, por ejemplo, en la agricultura, la economía circular puede implicar prácticas como el compostaje de residuos orgánicos para mejorar la salud del suelo, el uso de subproductos agrícolas para generar energía o la implementación de sistemas de agricultura regenerativa que cierran el ciclo de nutrientes.

En el procesamiento y distribución de alimentos, la economía circular puede incluir la reducción del desperdicio de alimentos a través de una mejor planificación y procesos de cadena de suministro, así como el reciclaje de subproductos alimentarios en nuevos productos. Además, la tecnología puede desempeñar un papel crucial en la mejora de la sostenibilidad en el sector agroalimentario, que incluye el uso de tecnologías de big data e IA para optimizar la cadena de suministro, reducir el desperdicio y mejorar la eficiencia de los recursos.

El estudio de Hamam et al. también aborda los desafíos para implementar modelos circulares en el sector agroalimentario, como la necesidad de inversión en nuevas tecnologías, la resistencia al cambio en prácticas agrícolas tradicionales y la necesidad de políticas gubernamentales que apoyen la transición hacia prácticas más sostenibles.

Hay que subraya la importancia de adoptar un enfoque de economía circular en el sector agroalimentario para mejorar la sostenibilidad y eficiencia del sector lo cual es crucial una combinación de innovación tecnológica, cambios en las prácticas de gestión y políticas de apoyo para poder conducir a una transformación

significativa en la forma en que producimos y consumimos alimentos.

Sostenibilidad en la Industria de la Moda

Arias-Meza et al. (2023) aborda un tema crucial en la sostenibilidad contemporánea: la integración de prácticas sostenibles en la industria de la moda, y es que en esta industria, conocida por su rápido ciclo de producción y consumo, enfrenta desafíos significativos en términos de impacto ambiental y sostenibilidad, el análisis proporcionado por Arias-Meza y colaboradores es fundamental para comprender cómo la reutilización y el reciclaje de materiales pueden ser implementados eficazmente en la industria de la moda.

La creciente necesidad de un cambio hacia prácticas de producción y consumo más sostenibles en la moda incluye el uso de materiales reciclados y reciclables, la adopción de procesos de producción que minimicen el desperdicio y la contaminación, y el fomento de una cultura de consumo consciente y responsable, es importante reflexionar cómo la moda sostenible no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede ofrecer ventajas económicas y sociales, como la creación de nuevos mercados y oportunidades de empleo en el sector del reciclaje y la reutilización.

Arias-Meza et al. discuten diversas estrategias para incorporar la sostenibilidad en la moda, incluyendo el diseño de prendas con una vida útil más larga, el uso de materiales orgánicos o reciclados, y la implementación de modelos de negocio circulares que promuevan la reutilización y el reciclaje de ropa, se debe priorizar la transparencia y la trazabilidad en la cadena de suministro de la moda, lo que permite a los consumidores tomar decisiones más informadas y sostenibles.

El papel de la tecnología en la promoción de la sostenibilidad en la moda también es un tema clave en el estudio, las innovaciones tecnológicas, como la impresión 3D y el uso de IA para optimizar los patrones de corte y reducir el desperdicio de tela, están emergiendo como herramientas importantes para lograr una mayor sostenibilidad en la industria.

Arias-Meza et al. subraya la necesidad urgente de un cambio hacia prácticas más sostenibles en la industria de la moda, proponiendo un enfoque holístico que incluye la innovación en materiales y procesos, cambios en los modelos de negocio, y un mayor compromiso de los consumidores con la moda sostenible.

Gestión de Residuos Electrónicos

Franz y da Silva (2022) se centra en uno de los desafíos ambientales más significativos de nuestra era: la gestión de residuos electrónicos (e-waste), es particularmente relevante en el contexto de la economía circular, donde la reutilización y reciclaje de materiales electrónicos se convierten en una necesidad imperativa.

Los residuos electrónicos, que incluyen todo, desde teléfonos móviles hasta computadoras y electrodomésticos, representan un desafío creciente debido a su rápido aumento y a la complejidad de su reciclaje. Franz y da Silva destacan la necesidad de estrategias innovadoras para abordar este problema, enfocándose en la reutilización de componentes y la recuperación de materiales valiosos desde las diversas facetas de la gestión de e-waste, incluyendo la recolección, el procesamiento y la disposición final, es de importancia desarrollar métodos de reciclaje eficientes que puedan separar y recuperar materiales valiosos, reduciendo así el impacto ambiental y contribuyendo a la conservación de recursos, abordando los desafíos asociados con la gestión de e-waste, como la presencia de sustancias tóxicas en los

dispositivos electrónicos y la necesidad de garantizar procesos de reciclaje seguros y saludables para los trabajadores.

Franz y da Silva también discuten el papel de las políticas y regulaciones en la mejora de la gestión de e-waste, subrayan la necesidad de leyes y regulaciones más estrictas que obliguen a los fabricantes a asumir una mayor responsabilidad por el ciclo de vida de sus productos electrónicos, se podría incluir la implementación de programas de retorno y reciclaje, así como el diseño de productos más sostenibles y fáciles de reciclar.

Explorar cómo la innovación tecnológica puede desempeñar un papel crucial en la mejora de la gestión de e-waste. Por ejemplo, el uso de tecnologías avanzadas para el procesamiento de e-waste puede aumentar la eficiencia del reciclaje y permitir la recuperación de más materiales. Además, la digitalización y la tecnología blockchain podrían utilizarse para mejorar la trazabilidad de los residuos electrónicos y garantizar una gestión más transparente y eficiente.

Franz y da Silva proporciona una visión integral de los desafíos y oportunidades en la gestión de residuos electrónicos, destacando la necesidad de un enfoque integrado que incluya innovación tecnológica, políticas efectivas y una mayor conciencia y participación de los consumidores y fabricantes en el ciclo de vida de los productos electrónicos.

Tendencias y Desafíos en Economía Circular

La revisión sistemática de Gil-Lamata y Latorre-Martínez (2022) proporciona una visión exhaustiva de las tendencias y desafíos en la economía circular, un modelo económico que contrasta con la tradicional "economía lineal" de producir, usar y desechar, el estudio es crucial para comprender la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y

el Big Data en la gestión de materiales, un aspecto fundamental de la economía circular.

Identifica varias tendencias emergentes en la economía circular, incluyendo el aumento de la conciencia ambiental entre consumidores y empresas, el desarrollo de nuevas políticas y regulaciones para fomentar prácticas circulares, y la creciente inversión en tecnologías que facilitan la reutilización y el reciclaje de materiales, estas tendencias indican un cambio significativo hacia un enfoque más sostenible y eficiente en el uso de recursos.

Sin embargo, la transición a la economía circular también presenta desafíos significativos, uno de los principales, es la necesidad de infraestructuras y tecnologías adecuadas para el procesamiento y reciclaje de materiales, existe un desafío en la adaptación de los modelos de negocio existentes y en la creación de valor a partir de materiales reciclados y reutilizados, la investigación señala la importancia de la educación y la concienciación pública para fomentar un cambio en los patrones de consumo.

Gil-Lamata y Latorre-Martínez destacan cómo las tecnologías de IA y Big Data pueden desempeñar un papel crucial en la superación de estos desafíos, como ejemplo, el Big Data puede utilizarse para analizar patrones de consumo y residuos, optimizando así las cadenas de suministro y reciclaje, la IA, por su parte, puede mejorar la eficiencia en la clasificación y el procesamiento de residuos, así como en la predicción de tendencias de mercado para materiales reciclados.

Aplicación de Blockchain y Machine Learning

Zukaib et al. (2023) explora el uso de tecnologías emergentes como blockchain y machine learning en la seguridad de registros electrónicos de salud, centrado en el sector de la salud, este estudio proporciona insights valiosos sobre cómo estas tecnologías pueden ser

aplicadas en la gestión de materiales en otros sectores, incluyendo la economía circular.

El blockchain, conocido por su capacidad para proporcionar transacciones seguras y transparentes, tiene un potencial significativo en la trazabilidad de productos y materiales, en la economía circular, el blockchain puede ser utilizado para rastrear el ciclo de vida de los productos, desde la producción hasta el reciclaje, asegurando la autenticidad y procedencia de los materiales reciclados. Esto no solo aumenta la confianza del consumidor, sino que también mejora la eficiencia en la cadena de suministro.

Por otro lado, el machine learning puede analizar grandes conjuntos de datos para identificar patrones y optimizar procesos en la gestión de residuos, como ejemplo, puede predecir la generación de residuos y optimizar las rutas de recolección, o identificar los materiales más adecuados para el reciclaje y la reutilización.

Zukaib et al. también discuten cómo la combinación de blockchain y machine learning puede crear sistemas más robustos y eficientes para la gestión de materiales, como ejemplo, el machine learning puede mejorar la precisión en la clasificación de residuos, mientras que el blockchain puede asegurar la integridad de los datos a lo largo de toda la cadena de reciclaje.

Zukaib et al. demuestra que la aplicación de blockchain y machine learning tiene un potencial significativo para revolucionar la gestión de materiales en diversos sectores, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad en la economía circular.

Desafíos de Digitalización en la Gestión del Agua

Liu, Yang y Yang (2021) aborda un tema de creciente importancia en la sostenibilidad ambiental: la digitalización en la gestión del agua, la investigación se centra en los desafíos

asociados con la implementación de la economía circular en este sector crítico, destacando cómo la digitalización puede ser tanto una herramienta poderosa como una fuente de desafíos significativos.

La gestión del agua es un área donde la economía circular puede tener un impacto profundo. La reutilización y reciclaje del agua, la minimización del desperdicio y la eficiencia en el uso de recursos son aspectos clave de la economía circular que pueden ser mejorados significativamente mediante la digitalización, sin embargo, el estudio identifica varios obstáculos en este proceso.

Uno de los principales desafíos es la infraestructura tecnológica, muchos sistemas de gestión del agua están basados en tecnologías anticuadas que no están preparadas para integrar soluciones digitales avanzadas, la actualización de estos sistemas requiere una inversión significativa, no solo en términos económicos sino también en capacitación y desarrollo de habilidades.

Otro desafío es la recopilación y gestión de datos. La digitalización implica manejar grandes volúmenes de datos para monitorear y optimizar el uso del agua, esto requiere sistemas robustos de recopilación y análisis de datos, así como políticas claras de privacidad y seguridad, Además, la resistencia al cambio como un obstáculo importante, cambiar los sistemas existentes y adoptar nuevos enfoques digitales puede enfrentarse con resistencia tanto de los operadores de sistemas de agua como de los usuarios finales, la falta de conciencia y comprensión de los beneficios de la digitalización puede ralentizar su adopción.

Economía Colaborativa y Modelos de Negocio Alternativos

Carrión (2022) explora la economía colaborativa y las plataformas cooperativas, ofreciendo una visión innovadora sobre modelos

de negocio alternativos y su impacto en la economía circular, este estudio es particularmente relevante en un momento en que la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial están ganando prominencia.

La economía colaborativa, que se basa en el intercambio, el alquiler o la venta de acceso a productos o servicios, en lugar de la propiedad, presenta una oportunidad única para la economía circular, este modelo promueve la utilización eficiente de recursos, reduce el desperdicio y fomenta la reutilización y el reciclaje.

Carrión destaca cómo las plataformas cooperativas pueden desempeñar un papel crucial en este contexto. A diferencia de las plataformas tradicionales de economía colaborativa, que a menudo están centradas en el lucro, las plataformas cooperativas se enfocan en la sostenibilidad y el beneficio comunitario, esto puede incluir iniciativas de reciclaje comunitario, sistemas de intercambio de recursos y colaboraciones para el uso eficiente de materiales y energía.

Abordar los desafíos que enfrentan estos modelos de negocio alternativos, incluyen la necesidad de un marco regulatorio que apoye y fomente la economía colaborativa, así como la necesidad de superar la mentalidad de propiedad y consumo que prevalece en muchas sociedades.

Además, Carrión examina el papel de la tecnología en la facilitación de la economía colaborativa, las plataformas digitales pueden ser herramientas poderosas para conectar a usuarios, facilitar el intercambio de recursos y promover prácticas sostenibles, sin embargo, también se requiere una consideración cuidadosa de cuestiones como la equidad, el acceso y la privacidad.

El estudio de Carrión proporciona una visión valiosa de cómo los modelos de negocio alternativos, apoyados por la economía colaborativa y las plataformas cooperativas,

pueden contribuir significativamente a la economía circular, destacando la necesidad de un enfoque innovador y colaborativo para abordar los desafíos de sostenibilidad, enfatizando la importancia de la comunidad y la cooperación en la creación de un futuro más sostenible.

Innovación Tecnológica en Agricultura

Henrichsen et al. (2023) representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías sostenibles en la agricultura, centrándose en el uso de nitrógeno líquido para la fertilización de avena, el enfoque innovador subraya cómo la tecnología puede mejorar la sostenibilidad en sectores tradicionales como la agricultura, un sector fundamental para la economía global y la seguridad alimentaria.

La agricultura ha enfrentado desafíos crecientes debido a la necesidad de aumentar la producción de alimentos de manera sostenible, el uso excesivo de fertilizantes químicos tradicionales ha llevado a problemas ambientales significativos, como la contaminación del agua y la degradación del suelo, dentro de este contexto, la investigación de Henrichsen et al. ofrece una alternativa sostenible que puede reducir el impacto ambiental de la fertilización agrícola.

Destacando la importancia de la innovación tecnológica en la adaptación de la agricultura a los desafíos del cambio climático.

Blockchain en la Economía Circular Aditiva

Ferreira et al. (2023) investiga el potencial del blockchain para impulsar la economía circular aditiva, un modelo económico que se enfoca en la reutilización, reparación, renovación y reciclaje de productos y materiales, el enfoque es crucial para entender cómo las tecnologías emergentes pueden mejorar la eficiencia y transparencia en la gestión de materiales.

La economía circular aditiva representa un cambio significativo respecto a la economía lineal tradicional, donde los productos son desechados después de su uso, en cambio, este modelo busca maximizar el valor de los productos a lo largo de su ciclo de vida, reduciendo el desperdicio y fomentando la sostenibilidad, el blockchain, con su capacidad para proporcionar transparencia y trazabilidad, es una herramienta poderosa para este modelo económico.

El estudio de Ferreira et al. explora cómo el blockchain puede ser utilizado para rastrear y verificar el origen y la calidad de los materiales reciclados y reutilizados, esto no solo aumenta la confianza de los consumidores y fabricantes en los materiales reciclados, sino que también facilita el cumplimiento de las regulaciones ambientales y de sostenibilidad.

El blockchain puede mejorar la eficiencia en la cadena de suministro de la economía circular aditiva, al proporcionar un registro inmutable y transparente de las transacciones y el movimiento de materiales, el blockchain puede ayudar a optimizar los procesos de reciclaje y reutilización, reduciendo los costos y mejorando la colaboración entre diferentes actores de la cadena de suministro.

Destacar el potencial del blockchain para fomentar la innovación en la economía circular aditiva, al proporcionar una plataforma segura y transparente para el intercambio de información y recursos, el blockchain puede facilitar la colaboración y el desarrollo de nuevas soluciones y modelos de negocio en la economía circular.

Ferreira et al. demuestra que el blockchain tiene el potencial de ser una herramienta transformadora en la economía circular aditiva, mejorando la transparencia, la eficiencia y la colaboración en la gestión de materiales y

fomentando la sostenibilidad en la producción y el consumo.

5. Discusión

El estudio ha revelado hallazgos significativos en la aplicación de tecnologías avanzadas para la optimización del ciclo de vida de materiales en el contexto de la economía circular. Entre estos, destacan:

Innovación Tecnológica en Agricultura y Gestión de Materiales: Henrichsen et al. (2023) y Ferreira et al. (2023) ilustran cómo la innovación tecnológica, específicamente el uso de nitrógeno líquido en la agricultura y el blockchain en la economía circular aditiva, puede mejorar la sostenibilidad y eficiencia en sectores clave.

Dentro de los desafíos en la Digitalización: Liu, Yang y Yang (2021) identifican obstáculos significativos en la digitalización de la gestión del agua, destacando la brecha entre el potencial teórico de las innovaciones tecnológicas y las realidades prácticas de las implementaciones.

Los hallazgos subrayan la importancia de integrar tecnologías avanzadas en la gestión de materiales para promover prácticas sostenibles, la innovación tecnológica emerge como un facilitador clave para cerrar el ciclo de materiales, aunque su implementación efectiva está sujeta a desafíos prácticos y contextuales.

En relación con trabajos anteriores: Comparando con estudios previos, estos hallazgos resaltan tanto la continuidad como la evolución en la aplicación de tecnologías en la economía circular, mientras que la innovación en la agricultura y la gestión de materiales sigue siendo un tema recurrente, la introducción de tecnologías emergentes como el blockchain representa un avance significativo en la forma en que abordamos la sostenibilidad y la eficiencia.

Un aspecto inesperado fue la magnitud de los desafíos en la digitalización de la gestión identificados por Liu, Yang y Yang, lo que sugiere que la adopción de tecnologías avanzadas puede ser más compleja de lo previsto inicialmente, lo cual resalta la importancia de un enfoque holístico que aborde tanto las innovaciones tecnológicas como los cambios en los modelos de negocio y las prácticas de gestión.

Se refuerza la idea de que la adopción exitosa de tecnologías avanzadas en la gestión de materiales y la promoción de la economía circular requieren un enfoque balanceado y contextualizado. La colaboración interdisciplinaria y la adaptación a contextos específicos son clave para abordar efectivamente los desafíos de la sostenibilidad.

6. Conclusiones

Avances en Innovación Tecnológica: Los estudios revisados, particularmente los de Henrichsen et al. (2023) y Ferreira et al. (2023), demuestran avances significativos en la aplicación de tecnologías como el nitrógeno líquido en la agricultura y el blockchain en la economía circular aditiva. Estas innovaciones ofrecen métodos más sostenibles y eficientes para la gestión de materiales, destacando el potencial de la tecnología para mejorar la sostenibilidad en diversos sectores.

Desafíos en la Implementación Tecnológica: Liu, Yang y Yang (2021) identifican desafíos clave en la digitalización de la gestión del agua, resaltando la brecha entre el potencial de las innovaciones tecnológicas y las realidades prácticas de su implementación. Esto subraya la necesidad de un enfoque holístico y contextualizado para la adopción de tecnologías avanzadas.

Importancia de Modelos de Negocio Alternativos: El análisis de Carrión (2022) sobre la economía colaborativa y las plataformas cooperativas ilustra la relevancia de considerar cambios en los modelos de negocio y prácticas de gestión, además de la innovación tecnológica, para promover la economía circular.

Importancia para la Industria y la Sostenibilidad: Los hallazgos de estos estudios son fundamentales para la industria y la sostenibilidad, ya que proporcionan insights valiosos sobre cómo las tecnologías emergentes pueden ser utilizadas para mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio y fomentar prácticas sostenibles, la implementación exitosa de estas tecnologías tiene el potencial de transformar significativamente sectores clave, contribuyendo a un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

7. Recomendaciones

Exploración de Aplicaciones en Diversos Sectores: Se recomienda investigar cómo las tecnologías emergentes pueden ser adaptadas y aplicadas en diferentes contextos y sectores, considerando las variaciones en la infraestructura, la cultura organizativa y las políticas regulatorias.

Enfoque Interdisciplinario: Futuras investigaciones deben adoptar un enfoque interdisciplinario que combine la innovación tecnológica con cambios en los modelos de negocio y prácticas de gestión, para abordar los desafíos de la sostenibilidad de manera integral.

Evaluación de Barreras y Facilitadores: Es crucial evaluar las barreras y facilitadores para la adopción de tecnologías avanzadas, incluyendo aspectos económicos, regulatorios y culturales.

Adaptación Contextualizada: Para implementar estas tecnologías en diferentes

sectores, es esencial adaptarlas a las necesidades y contextos específicos de cada sector, asegurando que sean viables y efectivas.

Colaboración y Participación de Stakeholders: Se debe fomentar la colaboración entre industrias, gobiernos y comunidades académicas para facilitar la adopción de tecnologías avanzadas. La participación activa de todos los stakeholders es crucial para superar los desafíos y maximizar el impacto positivo.

Fomento de la Conciencia y la Educación: Es importante promover la conciencia y la educación sobre los beneficios y aplicaciones de estas tecnologías, tanto a nivel de la industria como del público en general, para facilitar su adopción y uso efectivo.

8. Referencias

- Ametller, D. C. (2019). The rulemaking process before technological advance and digital transformation (artificial intelligence social networks and Big Data). *Revista General de Derecho Administrativo*, 2019(50). URL: https://www.iustel.com/v2/revistas/detalle_revista.asp?id_noticia=421169&d=1
- Arias-Meza, M., Alvarez-Risco, A., Cuya-Velásquez, B. B., Gómez-Prado, R., de las Mercedes Anderson-Seminario, M., & Del-Aguila-Arcenales, S. (2023). Theory of Sustainable Paths for Entrepreneurship Associated with Fashion and Practical Examples. En *Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes* (pp. 89-116). <https://cris.usil.edu.pe/en/publications/theory-of-sustainable-paths-for-entrepreneurship-associated-with->
- Betancourt Morales, C. M., & Zartha Sossa, J. W. (2020). Circular economy in Latin America: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2479-2497. URL: <https://doi.org/10.1002/bse.2515>
- Bohorquez-Lopez, V. W. (2022). Digital transformation in crisis situations. Literature review using topic modeling and grounded theory. *Cuadernos de Administracion*, 35(1). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cao35.tdsrcl>.
- Carrión, J. R. H. (2022). Deconstructing the “peer-to-peer sharing economy”: The challenge of the collaborative economy to platform co-operatives in the post-labor age of the 21st Century. *CIRIEC-Espana Revista de Economia Publica Social y Cooperativa*, 105, 177-204. <https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.105.17784>.
- Ferreira, I. A., Godina, R., Pinto, A., Pinto, P., & Carvalho, H. (2023). Boosting additive circular economy ecosystems using blockchain: An exploratory case study. *Computers and Industrial Engineering*, 175, 108916. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108916>.
- Franz, N. M., & da Silva, C. L. (2022). Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): Global and contemporary challenge to production chains and the urban environment. *Gestao e Producao*, 29(e6621). <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e6621>.

Gil-Lamata, M., & Latorre-Martínez, M. P. (2022). The Circular Economy and Sustainability: A Systematic Literature Review. *Cuadernos de Gestion*, 22(1), 129-142.
<https://doi.org/10.5295/CDG.211492MG>.

Hamam, M., et al. (2021). Circular economy models in agro-food systems: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6), 3453. URL:
<https://doi.org/10.3390/su13063453>

Liu, Q., Yang, L., & Yang, M. (2021). Digitalisation for water sustainability: Barriers to implementing circular economy in smart water management. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21), 11868.
<https://doi.org/10.3390/su132111868>.

Sousa, M. J., & Rocha, Á. (2019). Skills for disruptive digital business. *Journal of Business Research*, 94, 257-263. URL:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0148296317305544?via%3Dihub>

Zukaib, U., Cui, X., Hassan, M., Harris, S., Hadi, H. J., & Zheng, C. (2023). Blockchain and Machine Learning in EHR Security: A Systematic Review. *IEEE Access*, 11, 130230-130256.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3333229>.