



**LA SUSTENTABILIDAD EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS EN LA INDUSTRIA
NACIONAL**

Erickson Rengifo López

Cristian David Reyes C

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión De Activos

Asesor

Juan Carlos Orrego Barrera Magíster (MSc) en Gestión energética industrial

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Especialización en Gestión de Activos

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Rengifo López & Reyes C, 2024)
Referencia	Rengifo López, E., & Reyes C, C. D. (2024). <i>LA SUSTENTABILIDAD EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gestión de Activos., Cohorte Seleccione cohorte posgrado.



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento y sincera admiración a mi familia, cuya paciencia y comprensión han sido un refugio constante. A ustedes, que supieron entender mis ausencias y aceptar el tiempo sacrificado en favor de esta meta, les debo más de lo que las palabras pueden expresar.

Erickson Rengifo López

Con profunda gratitud y amor, dedico este logro a quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo en este camino. A mis padres, por su esfuerzo, amor incondicional y enseñanzas que han guiado cada paso de mi vida. Su confianza en mí ha sido mi mayor motor. A mi familia, por creer siempre en mi capacidad y brindarme su compañía y consejos en los momentos más difíciles. A mis amigos, por su comprensión, ánimos y apoyo, especialmente en las horas largas de estudio y sacrificio.

Este trabajo es reflejo del esfuerzo colectivo y de las personas maravillosas que me rodean. A todos ustedes, gracias.

Cristian David Reyes C.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra más sincera gratitud a los profesores del programa de posgrado de la Universidad de Antioquia, cuyo compromiso, conocimiento y dedicación han sido fundamentales en nuestra formación académica y profesional. Su apoyo constante y orientación no solo enriquecieron nuestro aprendizaje, sino que también nos inspiraron a alcanzar nuevos niveles de excelencia.

Así mismo, queremos destacar el papel de la Universidad de Antioquia como un espacio de excelencia académica que promueve el aprendizaje, la innovación y el desarrollo sostenible, proporcionando las herramientas necesarias para nuestra formación y crecimiento como profesionales comprometidos con la sociedad.

A todos ustedes, muchas gracias por acompañarnos en este proceso y por ser una fuente constante de motivación e inspiración.

Erickson Rengifo López

Cristian David Reyes C.

Resumen

Esta monografía examina la integración de prácticas sostenibles en la gestión de activos físicos, enfocándose en la industria nacional. La integración de la sustentabilidad en la administración de activos físicos implica un enfoque multifacético que abarca análisis de riesgos, evaluación de criticidad y marcos estratégicos. Esta integración no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también se alinea con objetivos de sustentabilidad más amplios, asegurando la viabilidad y resiliencia a largo plazo de los activos. Se analizan estrategias que mejoran la eficiencia operativa, minimizan el impacto ambiental y aumentan la competitividad en un mercado cada vez más orientado hacia la sostenibilidad.

La metodología se basa en una revisión bibliográfica sistemática de fuentes académicas y estudios de caso sobre las mejores prácticas de sostenibilidad en la gestión de activos. Los temas clave incluyen la Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA)¹, el uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT)² y la inteligencia artificial (IA)³, y el cumplimiento de normas internacionales como la ISO 55000.

Los resultados muestran que la adopción de estas prácticas puede mejorar la eficiencia, reducir costos a largo plazo y disminuir el impacto ambiental, alineándose con las regulaciones. Aunque existen desafíos como los costos iniciales, la sostenibilidad es esencial para asegurar la resiliencia organizacional frente a los cambios regulatorios y del mercado.

Palabras claves: Gestión de activos, Sustentabilidad, Eficiencia operativa, Resiliencia, Tecnologías emergentes, Ciclo de vida.

¹ Life Cycle Assessment, LCA

² Internet of Things, IoT

³ Inteligencia Artificial

Abstract

This monograph examines the integration of sustainable practices into physical asset management, focusing on the national industry. Integrating sustainability into physical asset management involves a multifaceted approach encompassing risk analysis, criticality assessment, and strategic frameworks. This integration not only improves operational efficiency but also aligns with broader sustainability goals, ensuring the long-term viability and resilience of assets. Strategies are analyzed that enhance operational efficiency, minimize environmental impact, and increase competitiveness in an increasingly sustainability-oriented market.

The methodology is based on a systematic literature review of academic sources and case studies on best sustainability practices in asset management. Key topics include Life Cycle Assessment (LCA) of Assets, the use of emerging technologies such as the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI), and compliance with international standards like ISO 55000.

The results show that adopting these practices can improve efficiency, reduce long-term costs, and decrease environmental impact while aligning with regulations. Although challenges such as initial costs exist, sustainability is essential to ensure organizational resilience in the face of regulatory and market changes.

Keywords: Asset management, Sustainability, Operational efficiency, Resilience
Emerging technologies, Life cycle

Contenido

Resumen	5
Abstract	6
Contenido	7
Figuras	11
Tablas	12
Introducción	13
Planteamiento del problema.	16
Identificación del problema.	18
Conceptos Claves	20
Definición y Delimitación del Problema.....	25
Justificación.	28
Relevancia y necesidad.	32
Objetivos	36
General.....	36
Específicos.....	36
1 - El impacto de la gestión de activos físicos sostenibles.....	36
2 - Uso de nuevas tecnologías	36
3 - Beneficios de la sostenibilidad	37
Hipótesis	38
Metodología	41
Revisión Bibliográfica Sistemática	43
Selección y Evaluación de Fuentes	43
Análisis Temático	45
Análisis Comparativo de Casos	46
Interpretación de Resultados	47
Limitaciones	47
Resultados esperados	48
Marco teórico	50

Gestión de Activos Físicos.....	50
Sostenibilidad en la Gestión de Activos Físicos	52
Innovación y Tecnología en la Gestión de Activos.....	53
Estándares y Normativas en la Gestión de Activos.....	54
Mantenimiento Predictivo y Preventivo.....	55
Gestión de Riesgos y Resiliencia	56
Impacto Económico y Responsabilidad Social Corporativa	57
Casos de Estudio y Mejores Prácticas.....	58
Estado del arte	60
Antecedentes en la Gestión de Activos	60
Prácticas Actuales de la Gestión de Activos.....	61
Gestión del Ciclo de Vida de los Activos Físicos.....	62
Innovación Tecnológica en la Gestión de Activos.....	63
Estándares y Regulaciones Internacionales.....	64
Casos de Estudio	64
Análisis Y Resultados.....	67
Impacto en la cadena de suministros	67
Estudio 1. An application of hybrid life cycle assessment as a decision support framework for green supply chains.....	68
Estudio 2. Comprehensive in-supply chain life cycle assessment of the preventative cost-based externalities of products.....	69
Estudio 3. Lifecycle Based Distributed Cooperative Service Supply Chain for Complex Product	71
Estudio 4. Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management	73
Estudio 5. An Integrated Production Planning Model with Obsolescence and Lifecycle Considerations in a Reverse Supply Chain	75
Estudio 6. Potential of life cycle assessment for supporting the management of critical raw materials	76
Estudio 7. logistische leistungsdifferenzierung im supply chain Management.....	78
Estudio 8. Fundamentals-Of-Supply-Chain-Management	80
Estudio 9. Sustainable Supply Chains	81
Estudio 10. Integrated Framework for Managing Sustainable Supply Chain Practices	83
Análisis Comparativo del Impacto de Prácticas Sostenibles en la Cadena de Suministro.....	85

Uso de nuevas tecnologías.	87
Estudio 11. A BIA-Based Quantitative Framework for Built Physical Asset Criticality Analysis under Sustainability and Resilience.	87
Estudio 12. A Knowledge-Based Digital Lifecycle-Oriented Asset Optimisation.	89
Estudio 13. Digital Asset Ecosystems.	91
Estudio 14. Digitization of the work environment for sustainable production.	93
Estudio 15. Smart or Intelligent Assets or Infrastructure Technology with a Purpose.	95
Estudio 16. Industry 4.0 Technologies for Sustainable Asset Life Cycle Management.	97
Estudio 17. Support of Advanced Technologies in Supply Chain Processes and Sustainability Impact.	99
Estudio 18. The Importance of Emerging Technologies to the Increasing of Corporate Sustainability in Shipping Companies.	102
Estudio 19. Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review.	104
Estudio 20. Digital Asset Management.	106
Análisis Comparativo del Impacto de las Nuevas Tecnologías en la Gestión de Activos Físicos	108
Beneficios de la sostenibilidad	110
Estudio 21. Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management.	111
Estudio 22. Key Factors of Sustainable Firm Performance: A Strategic Approach.	113
Estudio 23. Cases on the Diffusion and Adoption of Sustainable Development Practices.	115
Estudio 24. The impact of industry 4.0 technologies on the environmental sustainability of commercial property by reducing the energy consumption.	118
Estudio 25. Advancing sustainability in construction and environmental management about innovative materials, technologies, and policy frameworks.	120
Estudio 26. Management of Sustainable Innovation in an Internationalized Company.	123
Estudio 27. An Approach to Sustainability Risk Assessment in Industrial Assets.	125
Estudio 28. Benefits, Challenges, and Opportunities of Corporate Sustainability.	127
Estudio 29. Towards Sustainable Development: Environmental Innovation, Cleaner Production Performance, and Reputation.	129
Estudio 30. Contribution of Sustainable Investment to Sustainable Development within the Framework of the SDGs.	131
Análisis Comparativo del Impacto de la Sostenibilidad en la Eficiencia y Reputación Corporativa	133
Conclusión	136

Referencias 139

Figuras

Figura 1 – <i>Visión general de un sistema de gestión de activos</i>	24
Figura 2 – <i>Alcance del control de emisiones</i>	29
Figura 3 – <i>Proceso metodológico de investigación</i>	42
Figura 4 – <i>Gestión de activos / Servicios</i>	51
Figura 5 – <i>Evolución de las estrategias de mantenimiento</i>	56
Figura 6 – <i>Estructura general para análisis de criticidad de activos físicos</i>	57
Figura 7 – <i>Trayectoria de operaciones de gestión de activos</i>	58

Tablas

Tabla 1 <i>Criterios de selección de fuentes de las estrategias de mantenimiento.....</i>	44
Tabla 2 <i>Criterios de búsqueda y análisis de fuentes en la revisión de literatura.....</i>	44
Tabla 3 <i>Fases del análisis temático en la investigación.....</i>	45
Tabla 4 <i>Guía para el análisis comparativo de casos en la gestión de activos físicos</i>	46
Tabla 5 <i>Impacto en la Cadena de Suministro según Ciclo de Vida.....</i>	86
Tabla 6 <i>Tecnologías en Gestión de Activos y su Impacto</i>	109
Tabla 7 <i>Impacto de la Sostenibilidad en Eficiencia y Reputación.....</i>	134

Introducción

En la actualidad, la sustentabilidad ha emergido como un pilar clave en la gestión de activos físicos. Este enfoque se alinea con la creciente necesidad de proteger el medio ambiente, responder a demandas sociales y económicas, y garantizar la eficiencia operativa en un mundo cada vez más competitivo. Tradicionalmente, la gestión de activos físicos ha priorizado la optimización de costos y la eficiencia, pero la integración de prácticas sostenibles ha demostrado ser esencial para asegurar la viabilidad a largo plazo y cumplir con las expectativas de los *stakeholders*⁴.

La gestión de activos físicos ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo, pasando de prácticas informales a un enfoque formal y estructurado, impulsado por la creciente complejidad de los sistemas industriales modernos. La gestión eficiente de los activos no se limita solo a tareas de mantenimiento y operación, sino que implica una planificación estratégica alineada con los objetivos organizacionales para maximizar su valor a lo largo de su ciclo de vida (John Hastings, 2021). La administración de activos, además de prolongar su vida útil mediante mantenimiento adecuado, plantea desafíos importantes cuando se deben tomar decisiones sobre la reparación o el reemplazo de activos, decisiones que involucran una inversión considerable y que pueden impactar la rentabilidad de la organización. Este proceso de toma de decisiones no solo busca reducir los costos y mejorar la operatividad, sino que también considera aspectos de sustentabilidad y riesgo, en línea con las normativas ISO 55,000 e ISO 31,000, que facilitan la identificación, análisis y gestión de riesgos de sostenibilidad en activos industriales (García-Gómez F. J. et al., 2021).

⁴ Término en inglés que significa "grupos de interés," utilizado para referirse a todas las partes interesadas en una organización.

La administración de activos físicos implica la optimización de su ciclo de vida para cumplir con los objetivos empresariales de forma sostenible, un enfoque que ha sido evaluado en el contexto europeo y que muestra cómo los entornos industriales y tecnológicos específicos pueden influir en las prácticas de gestión de activos (Komonen y Emmanouilidis, 2013). Hoy en día, los avances tecnológicos también juegan un papel crucial en este proceso, ya que el Internet de las Cosas (IoT) permite un monitoreo constante y en tiempo real de los activos físicos, facilitando una "gestión inteligente de activos" (SAM)⁵ que maximiza el valor de los datos y fomenta la toma de decisiones estratégicas basada en análisis predictivo (Nel y Jooste, 2016).

Uno de los enfoques clave en la gestión de activos sostenibles es la Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA), que permite evaluar el impacto ambiental de los activos desde su adquisición hasta su disposición final (Sonnemann y Margni, 2015). Este análisis integral es fundamental para minimizar el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos, contribuyendo a una estrategia sostenible en la operación y mantenimiento de activos. La serie ISO 55000 también juega un rol crucial al proporcionar un marco normativo que promueve una gestión alineada con los objetivos estratégicos y operativos, garantizando que cada activo se administre de manera eficiente y sostenible.

La implementación de tecnologías limpias, como el uso de energías renovables, la eficiencia energética y tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), ha mejorado considerablemente la eficiencia operativa de los activos físicos. Estas innovaciones permiten un mejor monitoreo, optimización y mantenimiento predictivo, lo que reduce el consumo de energía y las emisiones de carbono. La adopción de

⁵ Smart Asset Management

tecnologías y estrategias innovadoras es esencial para prolongar la vida útil de los activos y reducir costos operativos.

En la industria nacional, estos avances tecnológicos representan un reto, ya que muchas empresas deben cumplir con normativas ambientales más estrictas y adoptar prácticas de gestión más eficientes. Sin embargo, la integración de tecnologías limpias y el uso de materiales sostenibles, como aquellos reciclados en el mantenimiento de activos, proporciona una oportunidad única para reducir la huella de carbono y generar menos desechos. Además, se ha demostrado que el mantenimiento predictivo, basado en datos y enfocado en anticipar fallos, reduce el tiempo de inactividad, mejora la eficiencia energética y optimiza el uso de los recursos. Este enfoque predictivo, combinado con estrategias de mantenimiento preventivo, extiende la vida útil de los activos, minimizando la necesidad de reparaciones intensivas y, con ello, los residuos generados.

A lo largo de esta monografía, se analizarán las diversas dimensiones de la gestión sustentable de activos físicos, explorando cómo la adopción de prácticas como la optimización del ciclo de vida y el uso de tecnologías limpias pueden mejorar tanto el desempeño operativo como el impacto ambiental. Este análisis se complementará con la revisión de normativas internacionales como la serie ISO 55000, que proporciona un marco estructurado para garantizar la gestión eficiente y sostenible de activos físicos. La gestión de activos, tal como lo plantea, permite no solo alcanzar objetivos económicos y operativos, sino también alinear cada decisión con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Planteamiento del problema.

La creciente preocupación global por el cambio climático y el impacto ambiental ha impulsado a las organizaciones a reconsiderar sus enfoques tradicionales en la gestión de activos físicos. Históricamente, la gestión de estos activos se ha centrado en maximizar la eficiencia operativa y reducir los costos; sin embargo, este enfoque resulta insuficiente en un contexto donde las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas y las expectativas sociales apuntan hacia el desarrollo sostenible. El principal desafío radica en integrar prácticas de sostenibilidad en la gestión de activos físicos para reducir su impacto ambiental sin comprometer la eficiencia operativa ni incrementar significativamente los costos.

Un elemento clave en este proceso es la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), una herramienta fundamental en la gestión sostenible de activos, que permite analizar el impacto ambiental de los mismos desde su adquisición hasta su disposición final. Esta metodología facilita la optimización de recursos, minimiza los desechos y contribuye a la reducción de emisiones, proporcionando a las organizaciones la capacidad de tomar decisiones informadas para mejorar la sostenibilidad en todo el ciclo de vida del activo. Sin embargo, no es la única necesidad; también resulta crucial adoptar enfoques de gestión que optimicen los recursos en medio de incertidumbres derivadas del cambio climático y factores económicos. Un estudio reciente resalta que la optimización multiobjetivo permite equilibrar el rendimiento de los activos con los costos operativos, ofreciendo un marco flexible para la toma de decisiones sostenibles y eficientes. Este tipo de optimización, a través de metodologías como la Optimización de Enjambre de Partículas *Multi-Objective* (MOPSO)⁶ y el Algoritmo Genético de Clasificación No Dominada II (NSGA-II)⁷, permite a los gerentes encontrar soluciones que se ajusten a las

⁶ Multi-Objective Particle Swarm Optimization

⁷ Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II

restricciones presupuestarias y otras limitaciones, facilitando intervenciones sostenibles a largo plazo en infraestructura física (Zhang et al., 2023).

Además, las empresas enfrentan la necesidad de implementar Tecnologías Limpias que incluyan el uso de energías renovables, la eficiencia energética y la adopción de herramientas avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA). Estas tecnologías no solo mejoran el rendimiento de los activos, sino que también permiten una reducción considerable en el consumo de energía y en las emisiones, contribuyendo a una gestión más sostenible. Asimismo, es indispensable la implementación de marcos de gestión de riesgos que integren aspectos de sostenibilidad, alineándose con normativas internacionales como la ISO 55,000 y la ISO 31,000, los cuales destacan la relevancia de evaluar riesgos ambientales y sostenibles en la operación de los activos. Según estudios recientes, la incorporación de un marco de gestión de riesgos de sostenibilidad no solo apoya la toma de decisiones informada en las empresas, sino que también contribuye a reducir los riesgos residuales de sostenibilidad, posicionando a las organizaciones en una mejor posición para cumplir sus compromisos ambientales (García-Gómez F. J. et al., 2021).

Otro aspecto crítico es la gestión de la cadena de suministro en un entorno afectado por el cambio climático. Las condiciones meteorológicas extremas afectan considerablemente la logística y las cadenas de suministro, lo que subraya la importancia de un enfoque resiliente y sostenible que integre factores económicos, ambientales, sociales y culturales. Este enfoque permite a las empresas adaptarse de manera efectiva a las condiciones cambiantes del entorno, garantizando mayor resiliencia en la cadena de suministro y, en consecuencia, un aspecto fundamental para la sostenibilidad en la gestión de activos físicos. En un análisis de la literatura sobre la gestión de riesgos en cadenas de suministro sostenibles, se destaca la creciente urgencia de adoptar prácticas proactivas e integrales que no solo mitiguen los riesgos

asociados al cambio climático, sino que también optimicen la eficiencia en la cadena de suministro mediante un equilibrio entre sostenibilidad y competitividad (Yun y Ülkü, 2023).

Finalmente, las prácticas de mantenimiento predictivo y preventivo basadas en datos emergen como soluciones clave para anticipar fallos, reducir el tiempo de inactividad y prolongar la vida útil de los activos, mejorando así la eficiencia energética y reduciendo los costos operativos. Sin embargo, muchas organizaciones todavía dependen de métodos reactivos de mantenimiento, lo cual limita su capacidad para operar de manera más sostenible y resiliente. Este problema se agudiza en la industria nacional, donde las empresas enfrentan la presión de cumplir con regulaciones ambientales más estrictas, adaptar sus operaciones a las expectativas de sostenibilidad y, al mismo tiempo, mantener su competitividad en un mercado globalizado.

En este contexto, es fundamental que las empresas reconsideren sus enfoques en la gestión de activos físicos, adoptando una visión más holística e integrada que no solo optimice la operación y el mantenimiento, sino que también incorpore criterios de sostenibilidad. Esta transformación permitirá no solo una reducción del impacto ambiental, sino también una mejora en la resiliencia y la rentabilidad operativa a largo plazo.

Identificación del problema.

En la industria nacional, la gestión de activos físicos ha sido tradicionalmente orientada hacia la eficiencia operativa y la reducción de costos, sin considerar plenamente los principios de sostenibilidad. Esta limitación ha provocado un uso ineficiente de los recursos y un impacto ambiental significativo. Con el aumento de las regulaciones ambientales y las expectativas sociales, se ha vuelto imprescindible para las empresas integrar la sostenibilidad en sus

estrategias de gestión de activos físicos. Un análisis reciente destaca que, aunque el campo de la gestión de activos ha evolucionado, las actividades siguen concentrándose en áreas como el análisis de costos del ciclo de vida y la confiabilidad, mientras que la sostenibilidad continúa siendo una asignatura pendiente en muchos sectores (Jung y Kim, 2021).

Uno de los problemas principales es la falta de adopción de enfoques que contemplen la Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA). Las organizaciones aún no implementan de manera generalizada la evaluación del impacto ambiental de los activos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la adquisición hasta su disposición final. Este vacío genera una gestión que no optimiza el uso de recursos ni minimiza los efectos negativos sobre el medio ambiente. La investigación sugiere que el análisis del ciclo de vida y la confiabilidad deberían incluirse más a fondo para dirigir el enfoque hacia la sostenibilidad en lugar de limitarse a los costos operativos tradicionales (Jung y Kim, 2021).

Además, la Implementación de Tecnologías Limpias sigue siendo una tarea pendiente para muchas empresas. La incorporación de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), que permiten un monitoreo en tiempo real y el mantenimiento predictivo, aún no se ha consolidado. Esta falta de adopción tecnológica limita la capacidad de las empresas para optimizar la operación y el mantenimiento de sus activos físicos, lo que incrementa su consumo de energía y las emisiones de carbono. En el contexto de las operaciones logísticas, el impacto de los factores tecnogénicos se ha identificado como una fuente de riesgo ambiental significativo, resaltando la necesidad de adoptar tecnologías que reduzcan el consumo energético y minimicen la contaminación (Shageeva, 2023).

Otro problema crítico es la falta de estrategias de mantenimiento predictivo y mantenimiento preventivo eficaces. A pesar de los avances tecnológicos, muchas organizaciones siguen dependiendo de métodos de mantenimiento reactivos, lo que resulta en tiempos de inactividad no planificados, mayor desgaste de los activos y un uso ineficiente de

los recursos. La implementación de mantenimiento predictivo basado en datos permitiría anticipar fallos y reducir los costos operativos, mientras que el mantenimiento preventivo reduciría la necesidad de reparaciones intensivas y prolongaría la vida útil de los activos.

Por último, la falta de gestión integrada de activos y sostenibilidad también es un problema recurrente. Muchas organizaciones no han alineado adecuadamente sus objetivos operativos con los objetivos ambientales, lo que dificulta una transición hacia una gestión de activos físicos más responsable y eficiente. Esto se traduce en un desempeño ambiental deficiente y un incumplimiento de las expectativas de los *stakeholders*, quienes demandan cada vez más prácticas empresariales sostenibles. La adopción de una logística sustentable, que aborde aspectos económicos, sociales y ambientales, ha sido propuesta como un enfoque que optimiza la productividad de los recursos y minimiza los desechos, fomentando así la cooperación entre las partes interesadas para alcanzar los objetivos de sostenibilidad (Shageeva, 2023).

En resumen, la falta de integración de principios de sostenibilidad en la gestión de activos físicos, la adopción limitada de tecnologías limpias y estrategias de mantenimiento avanzado, y la ausencia de una gestión integrada, representan los problemas más urgentes que la industria nacional debe enfrentar para mejorar su desempeño ambiental y operativo.

Conceptos Claves

La gestión de activos físicos en el marco de la sostenibilidad abarca una serie de conceptos fundamentales que son esenciales para comprender el impacto y las estrategias necesarias para promover prácticas más responsables. A continuación, se presentan los

conceptos clave que deben ser considerados al implementar la sostenibilidad en la gestión de activos físicos:

- 1. Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA):** Este concepto se refiere a la evaluación integral del impacto ambiental de un activo a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su adquisición, operación y mantenimiento, hasta su disposición final. La Evaluación del Ciclo de Vida es crucial para identificar oportunidades de optimización de recursos, minimización de desechos y reducción de emisiones de carbono, promoviendo una gestión de activos más eficiente y sostenible. El enfoque de ciclo de vida también es esencial en sectores como los recursos minerales, donde una gestión sustentable permite un uso responsable y equitativo de los recursos naturales, destacando la importancia de la colaboración para asegurar su conservación a largo plazo (Seymur et al., 2023).
- 2. Implementación de Tecnologías Limpias:** El Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) se han consolidado como tecnologías esenciales en la gestión de activos, permitiendo monitoreo en tiempo real, mantenimiento predictivo y optimización del rendimiento. Estas herramientas no solo minimizan los tiempos de inactividad y prolongan la vida útil de los equipos, sino que también reducen emisiones y mejoran la eficiencia energética. La introducción de tecnologías inteligentes en la gestión de activos, como el enfoque de gestión inteligente de activos (SAM), impulsa el análisis de datos en tiempo real, lo cual es fundamental para mejorar la sostenibilidad y el valor en entornos automatizados (Hirschowitz Nel y Jooste, 2016). La adopción de estas tecnologías es clave para enfrentar los desafíos de sostenibilidad operativa y cumplir con normativas ambientales.
- 3. Uso de Materiales Sostenibles:** El uso de materiales reciclados y sostenibles en la construcción, operación y mantenimiento de activos físicos es esencial para reducir la

huella de carbono. Además, emplear estos materiales contribuye a la economía circular, disminuyendo los residuos generados y promoviendo la reutilización de recursos en toda la cadena de valor. En sectores como el de la construcción, la elección de materiales sostenibles y reciclables, como el concreto optimizado, no solo cumple con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sino que también mejora el desempeño ambiental de las infraestructuras (Petr et al., 2023).

4. **Diseño Sostenible:** El diseño de activos físicos que permita su reutilización y reciclaje al final de su vida útil es un elemento clave para fomentar la sostenibilidad en las operaciones industriales. Este enfoque reduce los impactos ambientales asociados con la disposición de los activos y apoya la transición hacia una economía más circular. El desarrollo de infraestructuras con tecnologías inteligentes, que integren funcionalidad ecológica y prácticas sostenibles, es esencial para afrontar los retos ambientales actuales y futuros.
5. **Optimización del Mantenimiento Predictivo:** El mantenimiento predictivo, basado en el análisis de datos y la anticipación de fallos, es una estrategia crucial para mejorar la eficiencia energética de los activos y reducir los tiempos de inactividad. Al predecir posibles fallos antes de que ocurran, las organizaciones pueden optimizar el rendimiento de los activos y prolongar su vida útil, lo que también contribuye a la reducción del consumo de recursos y emisiones. La integración del mantenimiento en los indicadores de sostenibilidad mediante el uso de un cuadro de mando equilibrado asegura que no solo se atiendan los aspectos financieros, sino también los factores ambientales y sociales en los procesos industriales (Jasiulewicz-Kaczmarek y Żywica, 2018).
6. **Optimización del Mantenimiento Preventivo:** El mantenimiento preventivo se enfoca en la planificación regular del mantenimiento para evitar fallos inesperados, lo que

contribuye a prolongar la vida útil de los activos y reducir los costos operativos. Esta estrategia, al igual que el mantenimiento predictivo, minimiza la necesidad de reparaciones intensivas, reduce la generación de residuos y optimiza el uso de los recursos.

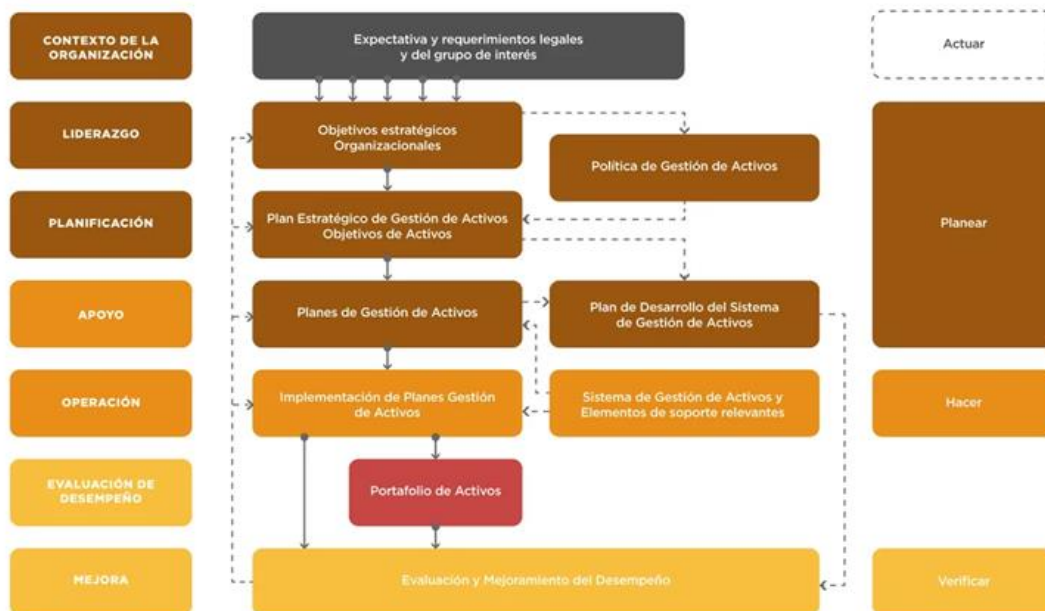
- 7. Monitoreo en Tiempo Real:** La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real permite evaluar continuamente el rendimiento de los activos y su impacto ambiental. Estos sistemas permiten realizar ajustes proactivos que optimizan el uso de energía y mejoran la eficiencia operativa, contribuyendo a una mejor gestión de los recursos y una reducción en las emisiones. La utilización de estos sistemas de monitoreo inteligente es fundamental en la administración de recursos energéticos y ambientales, permitiendo una respuesta eficiente a los desafíos de sostenibilidad en infraestructura.
- 8. Gestión Integrada de Activos y Sostenibilidad:** Un enfoque integrado en la gestión de activos combina objetivos operativos y de sostenibilidad, alineando las metas ambientales con las estrategias empresariales. La gestión integrada asegura que los principios de sostenibilidad se implementen de manera coherente en toda la operación, mejorando el rendimiento general de los activos y reduciendo su impacto ambiental. Este enfoque holístico promueve un equilibrio entre las dimensiones sociales, ambientales y económicas, algo fundamental para alcanzar la sostenibilidad a largo plazo en la gestión de recursos (Seymour et al., 2023).
- 9. Incorporación de Indicadores de Sostenibilidad:** Es fundamental que las empresas incluyan indicadores específicos de sostenibilidad, como las emisiones de carbono y la eficiencia energética, en la evaluación y gestión de sus activos. Estos indicadores permiten medir el progreso hacia una operación más sostenible y mejorar la toma de decisiones en relación con la gestión de los activos.

10. Cumplimiento de Estándares y Regulaciones Internacionales: El cumplimiento de normativas internacionales, como las ISO 55000, asegura que las empresas implementen prácticas sostenibles y eficientes en la gestión de activos. Estos estándares ofrecen un marco para gestionar de manera estructurada los activos, promoviendo tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad a largo plazo. La alineación con estándares internacionales fomenta un sistema integral de gestión que equilibra la eficiencia y sostenibilidad en entornos industriales complejos (Schulte et al., 2020).

Estos conceptos claves forman la base para una gestión de activos físicos que priorice tanto la eficiencia como la sostenibilidad, lo que permite a las organizaciones enfrentar los desafíos ambientales y económicos del siglo XXI.

Figura 1

Visión general de un sistema de gestión de activos



Nota. Visión general de un sistema de gestión de activos

Definición y Delimitación del Problema.

El problema central que aborda esta monografía es la necesidad de integrar la sostenibilidad en la gestión de activos físicos dentro de la industria nacional. Tradicionalmente, la gestión de estos activos ha estado enfocada en la eficiencia operativa y la reducción de costos, dejando de lado la dimensión ambiental y social, aspectos que son cada vez más relevantes ante la creciente presión por cumplir con las normativas ambientales y responder a las expectativas de los *stakeholders*. La integración de la sostenibilidad en las operaciones empresariales es crucial para equilibrar los objetivos económicos, ecológicos y sociales, especialmente en un contexto donde los requerimientos del mercado y las regulaciones están en constante cambio (Oertwig et al., 2017).

La falta de un enfoque sostenible en la gestión de activos físicos genera varios problemas. En primer lugar, no se está realizando una Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA) que permita entender el impacto ambiental de los activos durante todo su ciclo de vida, desde la adquisición hasta su disposición final. Esto implica que las empresas no están optimizando el uso de recursos ni reduciendo de manera significativa sus emisiones de carbono. El ciclo de vida de los activos físicos, apoyado por tecnologías de la Industria 4.0, permite una optimización de los procesos mediante el uso de datos en tiempo real y el gemelo digital (DT)⁸, integrando prácticas de sostenibilidad en todas las etapas del ciclo de vida del producto (Małgorzata et al., 2023).

Otro aspecto crucial del problema es la baja Implementación de Tecnologías Limpias en las operaciones industriales. Aunque tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) tienen el potencial de transformar la gestión de activos, su adopción

⁸ Digital Twin

sigue siendo limitada. Esto restringe la capacidad de las organizaciones para reducir el consumo energético y optimizar el rendimiento de los activos, generando un impacto negativo tanto en los costos operativos como en la huella ambiental. La integración de tecnologías avanzadas, como el análisis de big data y la computación en la nube, es esencial para mejorar la eficiencia en la gestión de recursos y reducir el impacto ambiental a través de una gestión más sostenible y orientada a los datos.

En cuanto a las estrategias de mantenimiento, las empresas enfrentan una deficiencia en la aplicación de mantenimiento predictivo y mantenimiento preventivo. Estas técnicas, basadas en la anticipación de fallos y en la programación de intervenciones regulares, son esenciales para prolongar la vida útil de los activos, reducir los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia energética. Sin embargo, la falta de implementación generalizada de estas metodologías genera un desgaste prematuro de los activos y un uso ineficiente de los recursos disponibles. La incorporación de un marco de madurez en la gestión de operaciones sostenibles es fundamental para guiar a las organizaciones en la mejora continua de sus prácticas de mantenimiento y eficiencia operativa (Gonçalves Machado et al., 2015).

Además, la gestión integrada de activos y sostenibilidad no ha sido adoptada de manera coherente en muchas organizaciones. Esto dificulta la alineación de las metas ambientales con los objetivos operativos, lo que a su vez impide que las empresas desarrollen un enfoque holístico que maximice tanto la eficiencia operativa como la reducción del impacto ambiental. Un enfoque holístico en la gestión de activos permite que las empresas maximicen su eficiencia y optimicen el uso de recursos mediante la integración de prácticas ambientales y de calidad en los sistemas de gestión existentes.

El problema se delimita a los siguientes aspectos clave:

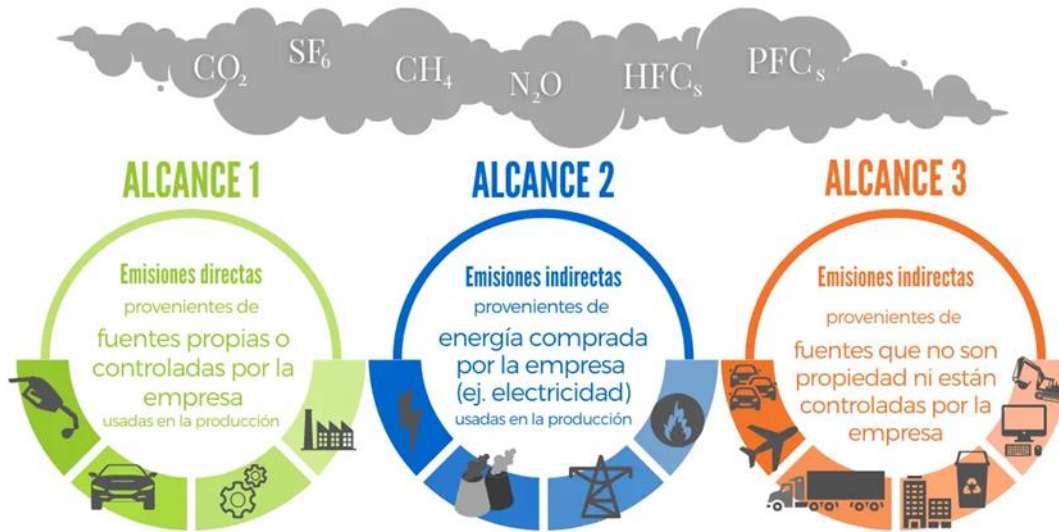
- **Impacto Económico y Ambiental:** Analizar cómo la implementación de una gestión de activos físicos sostenible puede reducir los costos operativos y mitigar el impacto ambiental.
- **Relevancia Actual:** Evaluar la importancia creciente de la sostenibilidad en la gestión de activos en el contexto contemporáneo, donde las regulaciones y las expectativas sociales están cambiando.
- **Regulaciones y Normativas:** Examinar cómo el cumplimiento de las normas internacionales, como las series ISO 55000, puede promover prácticas más sostenibles y eficientes.
- **Innovación Tecnológica:** Investigar cómo la incorporación de tecnologías avanzadas puede mejorar la eficiencia en la gestión de activos y contribuir a la sostenibilidad.
- **Responsabilidad Social Corporativa:** Explorar cómo una gestión sostenible de los activos físicos puede mejorar la percepción pública y fortalecer el compromiso con la responsabilidad social corporativa de la organización.
- **Resiliencia:** Estudiar cómo una gestión sostenible de activos puede contribuir a la resiliencia operativa, permitiendo a las organizaciones adaptarse mejor a los cambios del entorno y a las nuevas normativas ambientales.

Esta delimitación del problema subraya la necesidad urgente de desarrollar estrategias efectivas que integren la sostenibilidad en la gestión de activos físicos en la industria nacional, contribuyendo a un futuro más eficiente y ambientalmente responsable.

Justificación.

La gestión de activos físicos y la sostenibilidad son fundamentales para las organizaciones que buscan equilibrar la eficiencia operativa con la responsabilidad ambiental. En el contexto actual, marcado por la creciente preocupación por el cambio climático y las exigencias regulatorias, las empresas se ven cada vez más presionadas a adoptar prácticas que minimicen su impacto ambiental y optimicen el uso de recursos. Esta monografía justifica su importancia en varios aspectos clave:

Contribución al Desarrollo Sostenible: Al adoptar prácticas de gestión sostenible, las organizaciones pueden reducir su huella de carbono, minimizar los residuos y contribuir de manera directa a los objetivos globales de sostenibilidad. El *Global Corporate Sustainability Report 2024* destaca que muchas empresas ya están tomando medidas para reducir sus emisiones y establecer objetivos claros de sostenibilidad para 2030 (OECD, *Global Corporate Sustainability Report 2024.*, 2024). En línea con estas prácticas, la gestión de activos no solo implica mantener la operación eficiente de los equipos, sino que debe alinear sus decisiones operativas con los objetivos estratégicos a largo plazo. La implementación de normativas como ISO 55000 proporciona un marco esencial para estructurar la gestión sostenible de los activos, asegurando su alineación con las metas corporativas y promoviendo una operación eficiente y responsable.

Figura 2*Alcance del control de emisiones**Nota. Reducción huella de carbono en organizaciones*

Mejora de la Eficiencia Operativa: La integración de prácticas sostenibles en la gestión de activos no solo responde a la creciente demanda de responsabilidad ambiental, sino que también mejora la eficiencia operativa al reducir costos y tiempos de inactividad. El uso de estrategias avanzadas como el mantenimiento predictivo y preventivo garantiza que las organizaciones optimicen sus recursos y prolonguen la vida útil de sus activos, fortaleciendo su resiliencia ante los cambios del entorno. Este enfoque estratégico refuerza la competitividad y permite alinear las operaciones con los objetivos de sostenibilidad corporativa. (John Hastings, 2021) destaca que una gestión del ciclo de vida que considere desde la adquisición hasta la disposición de los activos asegura la optimización de costos y promueve una mayor eficiencia energética. Este enfoque también permite reducir riesgos operativos y fortalecer la capacidad de adaptación de las empresas ante cambios en su entorno. La aplicación de estas estrategias

no solo optimiza los recursos, sino que también contribuye a que las operaciones sean más resilientes y sostenibles.

Aumento de la Visibilidad y Reputación: En la era de la responsabilidad social corporativa (RSC), las empresas que implementan prácticas sostenibles son percibidas como líderes en su sector, mejorando su imagen pública y ganando la confianza de los consumidores, inversionistas y reguladores. Integrar la gestión de activos con objetivos estratégicos y ambientales fortalece la reputación de la organización.

La adopción de una gestión de activos físicos que priorice la sostenibilidad refuerza este posicionamiento y permite a las organizaciones destacarse en un mercado cada vez más competitivo. La aceptación de una gobernanza corporativa sólida y transparente refuerza este posicionamiento, ya que los inversionistas a nivel global están cada vez más interesados en empresas que demuestran un compromiso real con la sostenibilidad.

Según el *Global Corporate Sustainability Report 2024* (OECD, Global Corporate Sustainability Report 2024., 2024), un número significativo de empresas con grandes capitalizaciones ya han integrado la supervisión de temas relacionados con el cambio climático en sus consejos directivos, lo cual refleja un enfoque claro hacia la sostenibilidad. Esta supervisión mejora la transparencia y asegura que las empresas están tomando medidas concretas para gestionar los riesgos climáticos. Este tipo de gobernanza no solo refuerza la confianza de los inversionistas, que valoran el compromiso con la sostenibilidad, sino que también fortalece la reputación de las empresas al posicionarlas como líderes responsables en su sector. Además, las actividades de cabildeo relacionadas con el cambio climático, mencionadas en el mismo informe, contribuyen a que las empresas se alineen con las expectativas regulatorias y del público, lo que también aumenta su visibilidad y prestigio en el mercado.

Cumplimiento de Normativas y Regulaciones Ambientales: La presión de los gobiernos para reducir las emisiones y cumplir con normativas ambientales más estrictas, como las regulaciones de la serie ISO 55000, convierte la gestión sostenible de activos en una necesidad operativa. Las normativas internacionales permiten estructurar las operaciones y gestionar los riesgos de manera más eficiente, facilitando el cumplimiento normativo y optimizando los recursos.

En América Latina, varios países han comenzado a implementar marcos regulatorios que exigen a las empresas divulgar información sobre sostenibilidad, incluyendo la gestión de riesgos climáticos y la reducción de emisiones (OECD, Políticas de Sostenibilidad en Gobernanza Corporativa, 2023). Estas normativas no solo permiten a las empresas cumplir con estándares internacionales, sino que también impulsa una mejora en la imagen pública de las empresas y su capacidad para anticiparse a las exigencias regulatorias.

Generación de Ventajas Competitivas: La inversión en tecnologías sostenibles y la optimización del ciclo de vida de los activos no solo mejoran la rentabilidad a largo plazo, sino que también permiten a las organizaciones diferenciarse de sus competidores. La gestión de activos basada en datos y soportada por estándares internacionales crea valor y permite a las empresas mantenerse competitivas en mercados cada vez más exigentes.

El *Global Corporate Sustainability Report 2024* (OECD, Global Corporate Sustainability Report 2024., 2024), destaca que las empresas que integran estándares de sostenibilidad y divulgan información ambiental tienen más éxito en atraer a inversionistas globales, quienes valoran cada vez más la responsabilidad social y ambiental de las empresas. Esta integración de la sostenibilidad no solo ayuda a cumplir con las normativas ambientales vigentes, sino que también permite que las empresas obtengan una ventaja significativa frente a aquellas que no adoptan estas prácticas.

En el contexto de América Latina, la implementación de políticas sostenibles no solo fortalece la competitividad de las empresas, sino que también mejora su posicionamiento en mercados internacionales que exigen mayor transparencia y responsabilidad. Tal como se menciona en el informe *Sustainability Policies and Practices for Corporate Governance in Latin America*, las empresas que logran integrar la sostenibilidad en su gobernanza obtienen mejores resultados y consolidan su reputación ante inversionistas internacionales que buscan prácticas empresariales responsables. Esto asegura que las organizaciones puedan enfrentar con mayor resiliencia los desafíos futuros en un entorno empresarial que cada vez demanda más compromiso con la sostenibilidad.

Relevancia y necesidad.

El estudio de la gestión sostenible de activos físicos se ha vuelto cada vez más relevante en el contexto de las demandas actuales por una mayor responsabilidad ambiental y social en las operaciones industriales. La gestión moderna no se limita a la operación, sino que requiere planificación estratégica para maximizar el valor a lo largo del ciclo de vida del activo. La integración de tecnologías avanzadas, como IoT y mantenimiento predictivo, es fundamental para optimizar la eficiencia operativa y mejorar la resiliencia, lo que se alinea con los estándares ISO 55000 para asegurar una gestión sostenible del ciclo de vida de los activos (Weerasekara et al., 2022). Donde toma importancia los aspectos de sostenibilidad y resiliencia para enfrentar los desafíos del futuro, como la escasez de recursos y el cambio climático. Este enfoque refleja la evolución de la gestión de activos hacia una disciplina estratégica, donde la previsión de riesgos y la creación de valor a largo plazo son fundamentales. Además, la adopción de estándares internacionales como ISO 55000 refuerza la necesidad de prácticas sostenibles y resilientes, que permitan a las organizaciones adaptarse a entornos cambiantes y asegurar su continuidad operativa.

Las organizaciones enfrentan presiones sin precedentes debido a las regulaciones ambientales más estrictas, la creciente demanda de productos y servicios sostenibles por parte de los consumidores, y la necesidad de reducir su huella de carbono. La adopción de indicadores de sustentabilidad en las dimensiones económica, ambiental y social es clave para que las organizaciones mantengan su competitividad y aseguren la viabilidad operativa a largo plazo (Terezinha Vieira et al., 2021). Estas presiones han convertido a la sostenibilidad en un imperativo estratégico que no solo afecta la imagen corporativa, sino también la viabilidad operativa a largo plazo.

La relevancia de este estudio radica en varios factores clave:

1. **Cambio en las Expectativas del Mercado:** Los consumidores y los inversores están cada vez más preocupados por el impacto ambiental de las organizaciones con las que interactúan. Las empresas que no integran la sostenibilidad en la gestión de sus activos físicos corren el riesgo de perder competitividad en un mercado que valora cada vez más las prácticas empresariales responsables. El uso de tecnologías emergentes, como el big data y la inteligencia artificial, permite a las empresas optimizar sus operaciones y cumplir con las demandas de sostenibilidad del mercado moderno (Amaechi et al., 2022). Implementar prácticas como la Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA) y el uso de Tecnologías Limpias es esencial para cumplir con estas nuevas expectativas.
2. **Cumplimiento de Normativas y Estándares Internacionales:** Las regulaciones ambientales, tanto a nivel local como global, están imponiendo requisitos más rigurosos en cuanto al uso eficiente de los recursos y la reducción de emisiones. La implementación de prácticas basadas en estándares como ISO 14000 y el uso de indicadores sociales para el monitoreo de la sustentabilidad son esenciales para asegurar el cumplimiento normativo y mejorar la eficiencia operativa (Vieira et al., 2021).

El incumplimiento de estas normativas puede resultar en sanciones significativas y pérdida de reputación.

3. **Innovación Tecnológica:** La rápida evolución de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y los sistemas de mantenimiento predictivo han transformado la forma en que las empresas gestionan sus activos físicos. Estas tecnologías permiten monitorear los activos en tiempo real, optimizar su rendimiento y reducir los costos operativos, todo mientras se minimiza el impacto ambiental. El análisis de redes de co-ocurrencia de palabras clave revela que la integración de tecnologías de la Industria 4.0 en la gestión de activos es crucial para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia operativa (Weerasekara et al., Industry 4.0 for Asset Management, 2022).
4. **Sostenibilidad como Ventaja Competitiva:** La gestión sostenible de activos físicos no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también puede convertirse en una fuente de ventaja competitiva. Las empresas que priorizan la sustentabilidad son percibidas como líderes en responsabilidad social y ambiental, lo que fortalece su reputación y mejora la fidelidad de sus clientes (Wadhwa, 2018). Además, la reducción de costos operativos y el aumento de la eficiencia energética, logrados a través de estrategias como el mantenimiento preventivo y el uso de materiales sostenibles, contribuyen a una mayor rentabilidad a largo plazo.
5. **Contribución a la Resiliencia Organizacional:** Las organizaciones que adoptan prácticas de gestión de activos físicos sostenibles están mejor preparadas para enfrentar los desafíos futuros, como la escasez de recursos, el aumento de los costos energéticos y los riesgos ambientales. La gestión de riesgos basada en la sostenibilidad es clave para mejorar la resiliencia operativa, especialmente en sectores críticos como el transporte y la energía (Zatar, 2021). La sostenibilidad no solo reduce el impacto

ambiental, sino que también aumenta la resiliencia operativa y la capacidad de las empresas para adaptarse a cambios en el entorno regulatorio y de mercado.

En conclusión, la relevancia y necesidad de este estudio residen en la urgencia de que las organizaciones adapten sus enfoques tradicionales de gestión de activos a modelos más sostenibles. Las empresas que logren esta transición no solo cumplirán con las regulaciones ambientales, sino que también se posicionarán para liderar en un mercado global cada vez más consciente de la importancia de la sostenibilidad.

Objetivos

Este estudio tiene como objetivo evaluar los beneficios y desafíos de la gestión sostenible de activos físicos, enfocándose en la optimización operativa y la reducción del impacto ambiental. A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos.

General

Evaluar los beneficios y desafíos asociados con la adopción de prácticas sostenibles en la gestión de activos físicos, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, reducir el impacto ambiental y asegurar la sostenibilidad a largo plazo en la industria nacional.

Específicos

1 - El impacto de la gestión de activos físicos sostenibles

Determinar cómo las prácticas sostenibles en la gestión de activos pueden influir en diversos aspectos de la cadena de suministro, tales como la selección de proveedores, la logística, la optimización de recursos y la gestión de riesgos. Esto incluirá la evaluación del cumplimiento de proveedores con principios de sostenibilidad y su colaboración en proyectos conjuntos.

2 - Uso de nuevas tecnologías

Examinar el papel de las tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (*IoT*), la inteligencia artificial (*IA*) y el mantenimiento predictivo, en la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad de los activos físicos. Se estudiará cómo estas tecnologías contribuyen a la optimización del ciclo de vida de los activos y a la reducción de costos operativos y de emisiones.

3 - Beneficios de la sostenibilidad

Estudiar cómo la adopción de prácticas de gestión sostenible de activos físicos puede influir positivamente en la percepción pública de las organizaciones, así como en su compromiso con la responsabilidad social corporativa. Se explorará cómo estas prácticas mejoran la reputación de las empresas y fortalecen su imagen frente a los consumidores e inversores.

Esta investigación tiene como propósito evaluar los beneficios y desafíos de la gestión sostenible de activos físicos, optimizar las operaciones y reducir el impacto ambiental en la industria nacional. A continuación, se detallan los resultados esperados con base en los objetivos planteados.

Hipótesis

Las hipótesis planteadas en esta investigación buscan evaluar y demostrar cómo la gestión de activos físicos sostenibles puede impactar de manera significativa tanto en la sostenibilidad ambiental como en la eficiencia operativa y rendimiento económico de las organizaciones industriales. Estas hipótesis se fundamentan en el análisis de diversas prácticas y enfoques que las empresas pueden adoptar para maximizar sus beneficios tanto en el corto como en el largo plazo.

- **Prácticas de Gestión de Activos Físicos:** Las prácticas de gestión de activos físicos que se enfocan en la descarbonización de procesos, neutralidad climática, eficiencia energética, y la integración de energías renovables contribuyen de manera significativa a la sostenibilidad de las operaciones industriales. Estas prácticas, además, reducen los costos operativos a largo plazo al optimizar el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental.

Esta hipótesis se enfoca en la idea de que la implementación de estrategias que prioricen la descarbonización, la eficiencia energética y el uso de energías renovables en la gestión de activos contribuye significativamente a la sostenibilidad de las operaciones industriales. La premisa es que, al reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos, las empresas no solo cumplen con las crecientes demandas regulatorias, sino que también logran reducir costos operativos a largo plazo. Esta reducción de costos puede resultar de un menor consumo energético y una mayor eficiencia en el uso de insumos, contribuyendo así a la rentabilidad de la empresa.

- **Innovación en la Gestión de Activos:** La implementación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (*IoT*), la inteligencia artificial (IA), y el mantenimiento predictivo permite optimizar los procesos de gestión de activos, reducir la ineficiencia en el uso de recursos, y mejorar los sistemas de monitoreo y control. Esta adopción tecnológica se traduce en una operación más eficiente y sostenible.

En este caso, se busca probar que la adopción de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (*IoT*), la inteligencia artificial (IA) y el mantenimiento predictivo puede optimizar la eficiencia operativa y mejorar la sostenibilidad. Estas tecnologías permiten un monitoreo proactivo y una gestión predictiva de los activos, lo que puede reducir tiempos de inactividad, extender la vida útil de los equipos y minimizar desperdicios. Se espera que la integración de estas tecnologías mejore la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos industriales, logrando una mayor competitividad en el mercado.

- **Cumplimiento de Estándares y Regulaciones:** El cumplimiento de normas internacionales como la ISO 55000 y otros estándares relacionados con la gestión de activos físicos promueve un mayor cumplimiento de las exigencias ambientales y sociales, mejora la eficiencia operativa y refuerza la sostenibilidad a largo plazo de las organizaciones.

Esta hipótesis está orientada a demostrar que el alineamiento con estándares internacionales (como la ISO 55000) y las regulaciones medioambientales no solo permite a las empresas cumplir con las exigencias legales, sino que también puede resultar en una mayor eficiencia operativa. Al adoptar estos estándares, se espera que las organizaciones puedan mejorar sus prácticas internas, lo que conduce a una reducción de costos operativos y una mayor sostenibilidad a largo plazo.

- **Impacto Económico:** La adopción de prácticas sostenibles en la gestión de activos físicos no solo contribuye a la reducción del impacto ambiental, sino que también incrementa el valor de mercado de las organizaciones, mejora la percepción de los inversores y genera oportunidades de diferenciación y competitividad en el mercado.

Aquí se propone que la integración de prácticas sostenibles en la gestión de activos no solo genera beneficios medioambientales, sino que también tiene un impacto positivo en el valor económico de las organizaciones. Se espera demostrar que las empresas que priorizan la sostenibilidad pueden mejorar su reputación ante los inversores y clientes, lo que incrementa su valor de mercado y fortalece su competitividad.

- **Beneficios de la Gestión Sostenible:** La inversión en prácticas sostenibles de gestión de activos mejora la reputación corporativa, reduce riesgos regulatorios y genera nuevas oportunidades de negocio. Las empresas que adoptan un enfoque sostenible en la gestión de sus activos se posicionan mejor en el mercado y aseguran una mayor resiliencia operativa.

Esta hipótesis examina cómo la inversión en prácticas de gestión sostenible puede mejorar la resiliencia operativa, reducir riesgos y abrir nuevas oportunidades de negocio. Se espera probar que, al adoptar un enfoque sostenible, las empresas no solo cumplen con las expectativas regulatorias, sino que también obtienen una ventaja competitiva al posicionarse como líderes en sostenibilidad dentro de su sector.

Metodología

La metodología de este estudio se basa en un enfoque cualitativo, centrado en la revisión bibliográfica exhaustiva de la literatura existente sobre la gestión sostenible de activos físicos. Este enfoque busca analizar y comprender cómo las empresas han integrado prácticas sostenibles en la gestión de sus activos, así como identificar las tendencias y desafíos clave en la implementación de dichas prácticas.

Para cumplir con los objetivos planteados, se evaluaron fuentes académicas y técnicas que permitieron comprender los beneficios y obstáculos de la gestión sostenible en distintos contextos. Esta revisión se alineó con los siguientes objetivos específicos:

- Impacto de la gestión de activos físicos sostenibles:

Evaluar cómo estas prácticas influyen en la cadena de suministro, la logística y la optimización de recursos.

- Uso de nuevas tecnologías en la gestión de activos:

Analizar el papel de tecnologías emergentes, como IoT, inteligencia artificial (IA) y mantenimiento predictivo, en la eficiencia y sostenibilidad.

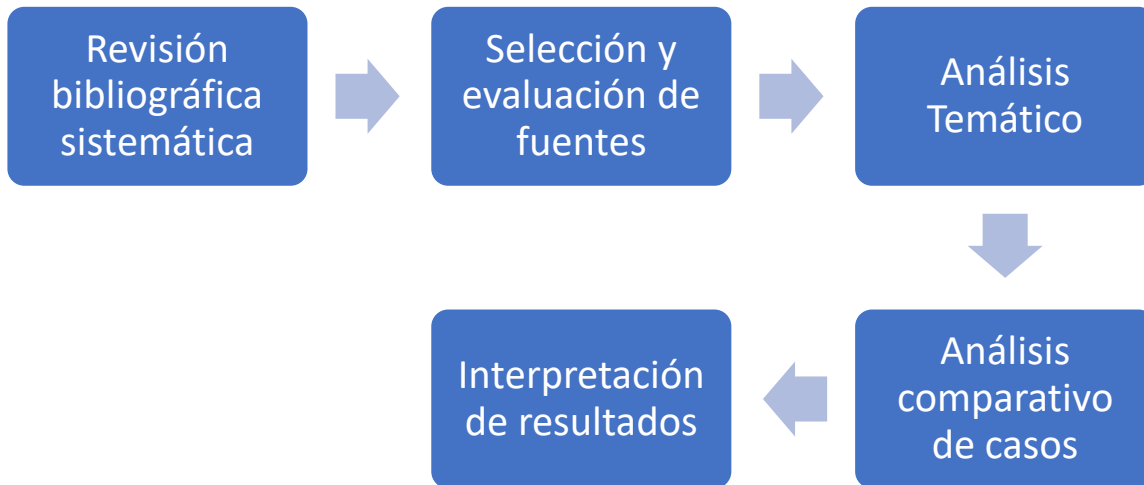
- Beneficios de la sostenibilidad en la reputación y la responsabilidad social:

Estudiar cómo la adopción de prácticas sostenibles mejora la percepción pública y fortalece el compromiso social de las organizaciones.

El siguiente diagrama de flujo ofrece una visión general del proceso metodológico utilizado en esta investigación, desde la selección de artículos hasta el análisis temático, comparativo de casos y la interpretación de resultados. Esta representación gráfica facilita la comprensión de los pasos seguidos para alcanzar los objetivos de la monografía."

Figura 3

Proceso metodológico de investigación



Nota. Esquema del proceso metodológico, desde la revisión bibliográfica hasta la interpretación de los resultados. Elaboración propia

Revisión Bibliográfica Sistemática

La revisión bibliográfica es el método principal utilizado en esta investigación. Se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura que abarca publicaciones académicas, informes técnicos y normativas internacionales, con el objetivo de comprender los enfoques actuales de la gestión de activos físicos sostenibles. La revisión incluyó fuentes obtenidas de bases de datos académicas reconocidas como *Springer*, *MDPI*, *ScienceDirect*, y otras plataformas de investigación especializadas en sostenibilidad y gestión de activos.

Selección y Evaluación de Fuentes

Las fuentes seleccionadas incluyen estudios de caso, artículos teóricos y estudios empíricos que analizan cómo diferentes industrias han adoptado prácticas sostenibles en la gestión de sus activos físicos. Las fuentes fueron seleccionadas tomando criterios de relevancia, actualidad y credibilidad en función de los temas claves con relación en los objetivos de la investigación.

Para la búsqueda de información, se utilizaron palabras clave como gestión de activos físicos, sostenibilidad, *IoT* y mantenimiento predictivo, ciclo de vida. Se aplicaron filtros específicos en bases de datos académicas para asegurar la calidad y pertinencia de las fuentes seleccionadas.

Las fuentes utilizadas para esta investigación se seleccionaron aplicando los siguientes criterios:

Tabla 1*Criterios de Selección de Fuentes*

Criterio	Descripción	Ejemplos o Detalles
Relevancia temática	Prácticas sostenibles, tecnologías emergentes, y responsabilidad social	Implementación de ISO 55000; uso de IoT en mantenimiento predictivo
Tipo de fuente	Artículos científicos, libros, y capítulos especializados.	libros académicos sobre gestión de activos. Publicaciones sobre sostenibilidad
Factibilidad y aplicabilidad	Fuentes accesibles en plataformas abiertas o institucionales.	Documentos en Google Books o bases de datos institucionales.

Nota. Esta tabla resume los criterios clave para la selección de fuentes en el estudio.

Tabla 2*Criterios de búsqueda y análisis de fuentes en la revisión de literatura*

Categoría	Subcategoría	Descripción
Relevancia temática	Prácticas sostenibles	Enfocadas en la gestión de activos físicos con tecnologías emergentes (IoT, IA, mantenimiento predictivo).
	Responsabilidad social corporativa	Estudios que incluyan enfoques sobre responsabilidad social en la gestión de activos.
Tipo de fuente	Artículos científicos	Publicados en revistas especializadas o presentados en conferencias internacionales.
	Libros y capítulos	Textos que traten sobre sostenibilidad, innovación tecnológica o normativas ISO 55000.
	Informes técnicos	Publicaciones de organizaciones reconocidas, como la OECD o instituciones del sector.
	Conferencias	Publicaciones de conferencias especializadas
Factibilidad y aplicabilidad	Contexto regional	Ejemplos aplicables a la industria local, destacando prácticas replicables.
	Accesibilidad	Fuentes disponibles en plataformas abiertas o mediante acuerdos institucionales.
	Casos de éxito	Documentados en sectores como la industria manufacturera o energética.
Temas analizados	Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (LCA)	Análisis del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de los activos físicos.

Relación con objetivos específicos	Implementación de Tecnologías Limpias	Aplicación de IoT y IA para mejorar la sostenibilidad de operaciones industriales.
	Adopción de estándares internacionales (ISO 55000)	Guía para la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de activos físicos.
	Impacto en la cadena de suministro	Búsqueda de artículos sobre prácticas sostenibles en logística y proveedores.
	Uso de nuevas tecnologías	Estudios sobre IoT, IA y mantenimiento predictivo en activos físicos.
	Beneficios de la sostenibilidad	Investigaciones sobre reputación corporativa y responsabilidad social.

Nota. Esta tabla organiza los criterios de búsqueda y selección utilizados en la revisión, alineando los temas y tipos de fuentes con los objetivos de la investigación.

Análisis Temático

El análisis temático se empleó como método principal para interpretar cualitativamente la información recopilada. Este proceso se desarrolló en tres fases.

Tabla 3

Fases del análisis temático en la investigación

Fase	Descripción	Propósito
1. Lectura y codificación	Lectura detallada de artículos y documentos, identificando ideas clave relacionadas con los objetivos.	Recopilar y codificar información relevante para los objetivos específicos de la monografía.
2. Categorías temáticas	Organización de la información en categorías alineadas con los objetivos: cadena de suministro, tecnologías emergentes, y sostenibilidad.	Facilitar el análisis centrado en áreas críticas como el uso de tecnologías, impacto en la cadena de suministro y beneficios sostenibles.
3. Interpretación	Análisis de datos para identificar patrones, tendencias y relaciones que expliquen el impacto de prácticas sostenibles.	Sintetizar mejores prácticas y entender los desafíos y beneficios de la sostenibilidad en la gestión de activos físicos.

Nota. La tabla resume el proceso de análisis temático utilizado para interpretar cualitativamente la información recopilada, alineado con los objetivos de la investigación sobre sostenibilidad en la gestión de activos físicos.

Este análisis permitió sintetizar las mejores prácticas y enfoques sostenibles, y comprender los desafíos y beneficios asociados a la implementación de estrategias de sostenibilidad en diferentes sectores industriales.

Análisis Comparativo de Casos

Como parte del enfoque cualitativo, se llevó a cabo un análisis comparativo de los casos de estudio descritos en la literatura revisada. Este análisis permitió comparar cómo diferentes organizaciones e industrias han adoptado la sostenibilidad en la gestión de activos físicos. Se enfocó en las prácticas implementadas, los resultados obtenidos y los obstáculos superados en el camino hacia la sostenibilidad operativa.

Este análisis comparativo incluyó:

Tabla 4

Guía para el análisis comparativo de casos en la gestión de activos físicos

Criterio de Análisis	Indicador Evaluado	Descripción del Enfoque	Aspectos Por Analizar
Prácticas sostenibles implementadas	Estrategias de mantenimiento y optimización de recursos	Identificación de prácticas sostenibles en la gestión de activos para mejorar la eficiencia.	Evaluar la adopción de mantenimiento predictivo y uso de tecnologías limpias.
Uso de tecnologías emergentes	Aplicación de tecnologías avanzadas (IoT, IA, Big Data)	Análisis del impacto de tecnologías emergentes en la sostenibilidad y eficiencia operativa.	Examinar cómo se utilizan sensores y análisis de datos en el monitoreo de activos.
Beneficios obtenidos	Impacto económico, social y ambiental	Evaluación cualitativa de beneficios relacionados con reducción de costos y sostenibilidad.	Analizar mejoras en eficiencia operativa y reputación corporativa.

Desafíos superados	Obstáculos enfrentados en la implementación	Identificación de barreras comunes como la resistencia al cambio y los altos costos iniciales.	Identificar barreras comunes y cómo se han abordado en distintos contextos.
Adopción de normativas (ISO 55000)	Nivel de cumplimiento y alineación con estándares	Evaluación de la integración de normativas internacionales en la gestión de activos.	Analizar el grado de alineación con estándares de sostenibilidad y eficiencia.

Nota. La tabla guía el análisis de casos para evaluar prácticas sostenibles, uso de tecnologías, beneficios y desafíos en diversos sectores, extrayendo lecciones aplicables a la gestión de activos en la industria nacional.

Interpretación de Resultados

La interpretación de resultados en esta investigación cualitativa se centró en identificar y comprender los patrones y tendencias clave emergentes de la literatura revisada. Los resultados del análisis temático y comparativo proporcionaron información valiosa sobre la adopción de prácticas sostenibles en la gestión de activos físicos, y permitieron generar una visión integral de los desafíos y beneficios asociados con su implementación en diferentes sectores industriales.

Limitaciones

La investigación se basa exclusivamente en literatura existente, lo que puede limitar la perspectiva de como realmente se llevan a cabo las practicas sostenibles dentro de las organizaciones delineadas a través de la gestión de activos físicos. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse considerando esta restricción.

Resultados esperados

Se espera que esta investigación proporcione resultados que reflejen la aplicación rigurosa de cada etapa metodológica, generando un mayor entendimiento sobre la importancia de la gestión sostenible de activos físicos en la industria nacional. Los resultados esperados se presentan a continuación, alineados con los pasos metodológicos desarrollados:

1. Resultados de la Revisión Bibliográfica Sistemática:

- Se proyecta identificar tendencias actuales en la gestión de activos físicos, incluyendo tecnologías emergentes como *IoT*, *IA* y mantenimiento predictivo.
- La revisión bibliográfica permitirá definir las normativas más relevantes (como la ISO 55000) y sus efectos sobre la eficiencia operativa y el impacto ambiental en diferentes sectores.

2. Análisis Temático:

- Se espera identificar temas clave, como la integración de la sostenibilidad en la cadena de suministro, el uso de tecnologías limpias y los beneficios de la sostenibilidad para la reputación empresarial.
- Este análisis proporcionará una visión clara sobre las áreas prioritarias para la adopción de prácticas sostenibles.

3. Análisis Comparativo de Casos:

- El análisis comparativo destacará las diferencias y similitudes entre sectores que han implementado prácticas sostenibles, identificando los factores de éxito y los desafíos encontrados.

- Se espera que las organizaciones que adoptaron normativas y tecnologías avanzadas presenten mejoras significativas en su eficiencia operativa y reducción de emisiones.

4. Interpretación de Resultados:

- A partir del análisis comparativo y temático, se desarrollarán propuestas de mejora orientadas a promover la adopción de tecnologías emergentes y maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales.
- También se proyecta identificar obstáculos críticos, como la resistencia al cambio y los altos costos iniciales, y sugerir estrategias para superarlos.

5. Propuestas y Estrategias Futuras:

- Los hallazgos permitirán formular recomendaciones concretas para la industria nacional, enfocadas en la mejora de prácticas, cumplimiento normativo más eficiente y aumento de la resiliencia organizacional.
- Las estrategias propuestas fortalecerán la competitividad de las empresas al fomentar una gestión de activos sostenible y alineada con las expectativas regulatorias y sociales.

Estos resultados no solo aportarán valor en términos de sostenibilidad y eficiencia operativa, sino que también contribuirán a la generación de un impacto positivo en el medio ambiente y a la mejora de la reputación corporativa, cumpliendo con las demandas de los *stakeholders*.

Marco teórico

La gestión de activos físicos se ha transformado en una disciplina esencial para las organizaciones que buscan optimizar el uso de sus recursos y garantizar la eficiencia operativa a lo largo del ciclo de vida de sus activos. Con la creciente presión por adoptar prácticas más sostenibles, esta disciplina ha evolucionado para integrar tecnologías emergentes y enfoques de sostenibilidad, que no solo mejoran el rendimiento de los activos, sino que también minimizan su impacto ambiental. El Marco Teórico de esta monografía se estructura en torno a los siguientes elementos clave:

Gestión de Activos Físicos

La gestión de activos físicos se refiere a la administración estructurada y sistemática de los activos tangibles de una organización, que incluyen instalaciones, equipos, infraestructura y otros elementos esenciales para su funcionamiento. Su propósito es maximizar el valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida, desde su adquisición hasta su disposición final (Aghabegloo M. et al., 2023). Es fundamental alinear las estrategias operativas con los objetivos organizacionales para evitar ineficiencias y maximizar el retorno de inversión. En esta línea, (Farinha Torres et al., 2023) destacan la importancia de utilizar modelos de ciclo de vida para evaluar cuándo renovar o retirar activos, optimizando así su valor y eficiencia operativa.

Además, la gestión de activos desempeña un papel fundamental en la mejora del rendimiento de proyectos industriales, especialmente en entornos de alto dinamismo, como la industria minera. En este contexto, (Wahyudhi et al., 2024) resaltan que la implementación efectiva de estrategias de gestión de activos en proyectos de minería no solo mejora el desempeño operativo, sino que también incrementa la capacidad de adaptación a cambios en

las condiciones del entorno y asegura una administración eficiente de los recursos a lo largo del ciclo de vida de los activos. En el contexto industrial, esta gestión no solo debe asegurar la eficiencia operativa, sino también garantizar que los activos sean sostenibles y resilientes frente a desafíos futuros.

Con la creciente presión por adoptar prácticas más sostenibles, la gestión de activos físicos ha evolucionado para integrar tecnologías emergentes y enfoques sostenibles. Esto no solo optimiza el uso de los recursos y el rendimiento de los activos, sino que también minimiza su impacto ambiental. Esta evolución refleja la importancia de la integración de las estrategias operativas con las normativas internacionales y las necesidades de sostenibilidad en el entorno moderno.

Figura 4

Gestión de activos / Servicios



Nota. Componentes principales de la gestión de activos en entornos industriales

Sostenibilidad en la Gestión de Activos Físicos

El concepto de sostenibilidad aplicado a la gestión de activos físicos implica la adopción de prácticas que aseguren el uso eficiente de los recursos y la reducción del impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de los activos (Tighe et al., 2012). La Evaluación del Ciclo de Vida de los Activos (*LCA*) es una metodología fundamental para este enfoque. El *LCA* permite analizar el impacto ambiental de los activos desde su fabricación, operación y mantenimiento hasta su disposición final. Este análisis integral permite a las organizaciones tomar decisiones informadas que optimizan el uso de recursos y minimizan la generación de residuos y emisiones de carbono.

Además, la implementación de tecnologías limpias como el Internet de las Cosas (*IoT*) y la inteligencia artificial (*IA*) ha transformado la forma en que las empresas gestionan sus activos. Estas tecnologías permiten un monitoreo en tiempo real, lo que facilita la adopción de mantenimiento predictivo y reduce el tiempo de inactividad de los activos, mejorando su rendimiento y disminuyendo su impacto ambiental.

La sostenibilidad en la gestión de activos físicos no solo se relaciona con la eficiencia operativa, sino también con la capacidad de adaptarse a los desafíos del cambio climático. Según (Sayegh, 2023), la conciencia sobre el cambio climático entre los ingenieros influye directamente en la adopción de prácticas sostenibles en la gestión de activos. Esta conciencia impulsa el desarrollo de estrategias que no solo buscan la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, convirtiendo la sostenibilidad en un pilar fundamental de la gestión de activos físicos.

Alinear las estrategias operativas con los objetivos organizacionales no solo maximiza el retorno de inversión, sino que también garantiza un uso eficiente de los recursos. Además, el integrar criterios sostenibles en la planificación del ciclo de vida de los activos es clave para

evitar ineficiencias, minimizar riesgos operativos y asegurar la productividad de los activos a lo largo de su vida útil. Esta alineación estratégica permite que las decisiones empresariales no solo respondan a las necesidades actuales, sino que también favorezcan la sostenibilidad a largo plazo, beneficiando tanto al entorno empresarial como al medio ambiente.

Innovación y Tecnología en la Gestión de Activos

Las tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (*IoT*), la inteligencia artificial (IA) y el mantenimiento predictivo han revolucionado la gestión de activos físicos (Maletič et al., 2020). Estas tecnologías permiten un monitoreo en tiempo real y un análisis predictivo de los activos, lo que reduce los tiempos de inactividad y optimiza su vida útil. Además, su implementación ha facilitado la detección temprana de fallos, lo que permite una respuesta más rápida y eficiente en la gestión de los activos. Según (Rajora et al., 2024), la aplicación de modelos de aprendizaje automático en la gestión de activos del sector energético no solo permite predecir fallos con mayor precisión, sino que también mejora la toma de decisiones estratégicas en cuanto a mantenimiento y renovación de activos. Esto, a su vez, contribuye significativamente a la optimización de la eficiencia operativa, la reducción del consumo energético y la disminución de emisiones de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad corporativa.

El uso de Tecnologías Limpias es otro componente clave en la gestión de activos físicos sostenibles. Estas tecnologías, que incluyen energías renovables y herramientas avanzadas de monitoreo, permiten una gestión más eficiente de los recursos y una operación más responsable en términos ambientales. La implementación de tecnologías limpias en el ciclo de vida de los activos no solo ayuda a las empresas a alinearse con las normativas ambientales vigentes, sino que también mejora su reputación corporativa al demostrar un compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial (Ossai et al., 2014).

Estándares y Normativas en la Gestión de Activos

El cumplimiento de estándares internacionales es una parte crítica de la gestión de activos físicos sostenible. Normas como la ISO 55000 ofrecen una guía detallada sobre cómo gestionar los activos de manera eficiente y sostenible. Estas normativas no solo aseguran que las empresas cumplan con las regulaciones ambientales, sino que también promueven una gestión más estructurada y responsable de los activos. Los estándares ISO 55000 no solo establecen las mejores prácticas para gestionar los activos, sino que también fomentan la alineación de los planes operativos y financieros con los objetivos estratégicos de la organización, asegurando así una gestión integrada y eficaz a lo largo del ciclo de vida del activo.

Además, los estándares internacionales ayudan a las organizaciones a alinearse con los objetivos de sostenibilidad globales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, que buscan promover la eficiencia en el uso de recursos, reducir las emisiones y minimizar el impacto ambiental en todos los sectores industriales.

Las normas internacionales, como la ISO 55000, proporcionan un marco para la implementación efectiva de la gestión de activos físicos. Esta serie de normas define las mejores prácticas para gestionar los activos de una manera que maximice su valor y minimice el riesgo. Integrar la sostenibilidad en la gestión de activos no solo cumple con las expectativas modernas de responsabilidad ambiental, sino que contribuye a reducir riesgos operativos y mejorar la resiliencia organizacional, generando un impacto positivo tanto en el desempeño financiero como en el ambiental.

Mantenimiento Predictivo y Preventivo

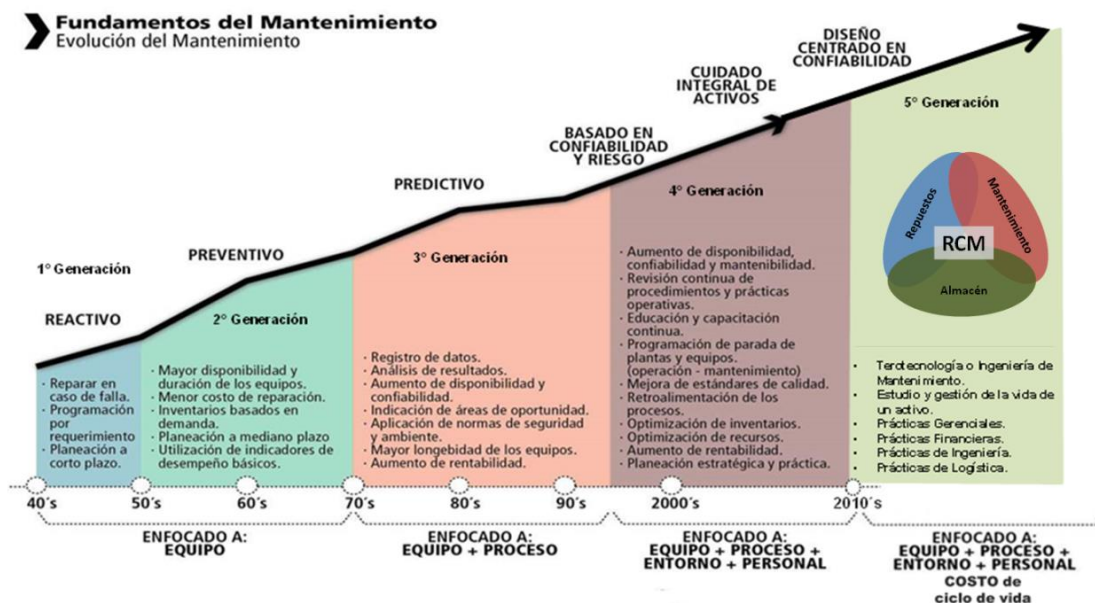
El mantenimiento predictivo y preventivo se han convertido en pilares esenciales para una gestión de activos físicos más eficiente y sostenible. El mantenimiento predictivo, basado en el análisis de datos y en la anticipación de fallos, permite a las organizaciones minimizar los tiempos de inactividad, reducir el desgaste prematuro de los activos y mejorar su rendimiento energético. Según (Abdi y Taghipour, 2019), la calidad del mantenimiento preventivo y la perfección de las reparaciones son factores cruciales para prolongar la vida útil de los activos y mejorar su fiabilidad operativa, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los fallos.

Por otro lado, destaca que un enfoque proactivo en el mantenimiento no solo optimiza el rendimiento de los activos, sino que también extiende la vida útil de los equipos y mejora la eficiencia en el uso de recursos, contribuyendo así a un desempeño ambiental más sostenible.

El mantenimiento preventivo, a su vez, reduce la necesidad de reparaciones intensivas y prolonga la vida útil de los activos, minimizando los residuos generados y el consumo de recursos. La implementación de estas estrategias de mantenimiento no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también disminuye los impactos ambientales derivados del desgaste prematuro y del uso excesivo de energía.

Figura 5

Evolución de las estrategias de mantenimiento



Nota. Los beneficios de introducir estrategias de mantenimiento mejoradas se pueden aprovechar a un nivel superior. (Henderson et al., 2014).

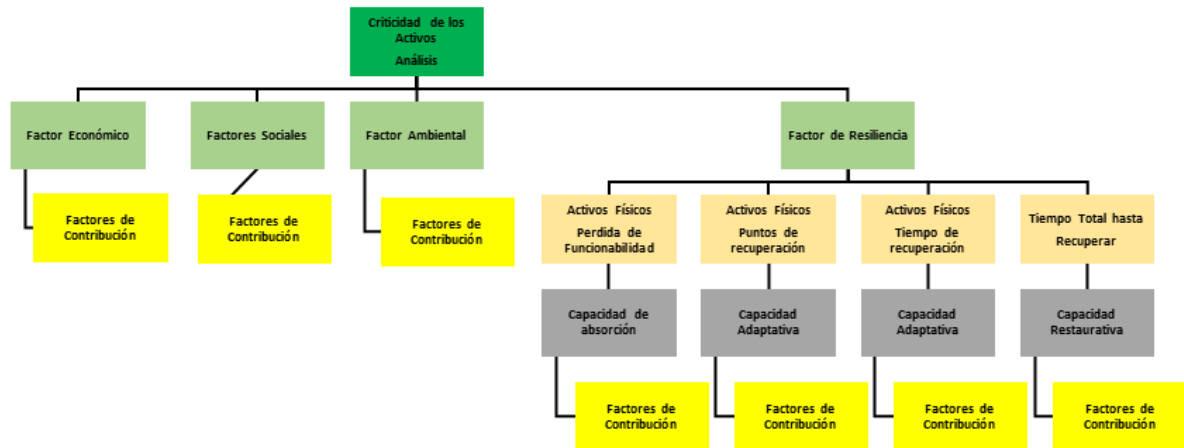
Gestión de Riesgos y Resiliencia

La gestión de riesgos es un componente clave en la sostenibilidad de los activos físicos. Las organizaciones deben considerar tanto los riesgos operativos como los riesgos ambientales y sociales (Aghabegloo M. et al., 2023). Además, una gestión adecuada de la resiliencia de los activos físicos, como señala (Maletič et al., 2018), permite a las organizaciones enfrentar de manera más efectiva los riesgos operativos y ambientales. La implementación de estrategias de gestión de riesgos y resiliencia permite a las empresas enfrentar de manera más efectiva los desafíos que puedan surgir a lo largo del ciclo de vida de sus activos. Esto es especialmente

relevante en el contexto de la sostenibilidad, donde la capacidad de adaptarse a cambios regulatorios, tecnológicos y ambientales es crucial para el éxito a largo plazo.

Figura 6

Estructura general para análisis de criticidad de activos físicos.



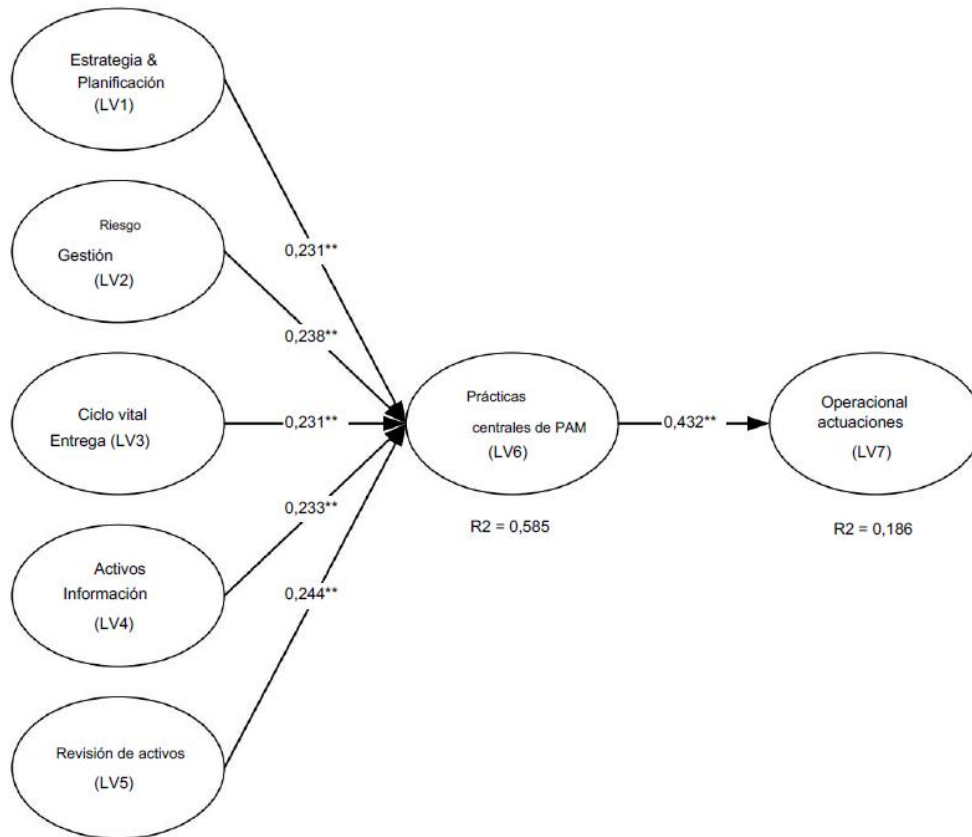
Nota. Parámetros de las variables y sus valores cambian con relación a cada activo físico. (Aghabegloo M. et al., 2023).

Impacto Económico y Responsabilidad Social Corporativa

La gestión de activos físicos sostenibles tiene un impacto directo en el desempeño económico de las organizaciones. Al reducir los costos operativos a través de la optimización del uso de recursos y la implementación de tecnologías avanzadas, las empresas pueden mejorar su rentabilidad a largo plazo. Además, la adopción de prácticas sostenibles fortalece la responsabilidad social corporativa (RSC), mejorando la percepción pública y la reputación de la empresa ante los consumidores, inversionistas y reguladores (Maletič et al., 2018).

Figura 7

Trayectoria de operaciones de gestión de activos.



Nota. Modelo estructural en operaciones de gestión de activos. (Maletič et al., 2018)).

Casos de Estudio y Mejores Prácticas

Diversos estudios de caso han demostrado los beneficios tangibles de implementar prácticas sostenibles en la gestión de activos físicos. Empresas que han adoptado enfoques innovadores y sostenibles han logrado no solo mejorar su eficiencia operativa, sino también reducir su huella ambiental, cumplir con normativas internacionales y fortalecer su resiliencia

ante desafíos futuros. Estos casos proporcionan lecciones valiosas sobre las mejores prácticas en la gestión de activos y demuestran la viabilidad económica y operativa de integrar la sostenibilidad en las operaciones industriales.

Estado del arte

La gestión de activos físicos es una herramienta fundamental en la industria, todo esto enmarcado en la búsqueda de lograr una eficiencia operativa y una mayor competitividad, sin dejar de lado la importancia que tiene el impacto ambiental de las operaciones en la actualidad.

Antecedentes en la Gestión de Activos

La gestión de activos físicos ha evolucionado significativamente desde su concepción, especialmente en lo que respecta a la sostenibilidad y la eficiencia operativa. Desde sus inicios, las empresas industriales han enfrentado el reto de equilibrar la producción y el crecimiento con la necesidad de reducir el impacto ambiental. La implementación de la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) en la adquisición de activos permite simplificar la evaluación del impacto ambiental, mejorando la eficiencia en la toma de decisiones durante el proceso de adquisición (Haanstra et al., 2019). Esta evolución ha sido acompañada por un creciente interés en la integración de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA), que permiten una gestión más eficiente y sostenible de los activos físicos.

En las últimas décadas, el uso de prácticas sostenibles ha sido una prioridad para muchas industrias debido a la creciente presión de regulaciones internacionales y las expectativas de los consumidores respecto a la responsabilidad ambiental. El enfoque actual de la administración de activos no solo se centra en optimizar los niveles de servicio, sino también en equilibrar los perfiles de riesgo y los requisitos de financiamiento a lo largo de la vida útil de los activos, lo que contribuye a la eficiencia y reducción de costos (Popović et al., 2010).

El desarrollo de estrategias de inversión que maximicen el valor generado por los activos físicos ha sido fundamental en esta evolución. La relación entre la inversión en activos físicos y la creación de valor va más allá de las inversiones financieras tradicionales, ya que las decisiones deben considerar tanto los beneficios monetarios como no monetarios a lo largo del ciclo de vida (Heitz y Goren Huber, 2014). Además, se ha reconocido que una administración de activos eficiente puede conducir a un mejor control de riesgos y a un desempeño operativo optimizado, respondiendo así a las demandas regulatorias y las expectativas del mercado.

En resumen, la gestión de activos físicos ha transitado de ser un enfoque puramente operativo para convertirse en una disciplina estratégica. El uso de modelos racionalizados de LCA y la integración de tecnologías avanzadas no solo optimizan el desempeño ambiental, sino que también aseguran que las decisiones de adquisición y mantenimiento sean más accesibles y prácticas para los tomadores de decisiones (Haanstra et al., 2019). Esta transición refleja el compromiso de las organizaciones con la sostenibilidad, la eficiencia y la resiliencia en un entorno industrial en constante cambio.

Prácticas Actuales de la Gestión de Activos

Las prácticas actuales de la gestión de activos físicos varían según la industria, pero comparten principios comunes como el mantenimiento preventivo, la evaluación continua de activos y la adopción de tecnologías avanzadas para el monitoreo y control de los activos. Estas prácticas no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también contribuyen a la reducción del impacto ambiental. La literatura revisada destaca la implementación de tecnologías limpias, la reducción de residuos y la optimización de recursos como estrategias clave para la sostenibilidad.

- **Prácticas sostenibles:** La implementación de prácticas sostenibles es fundamental para mejorar la eficiencia operativa y minimizar el impacto ambiental (Barbieri y Hernandez, 2024). Estas prácticas incluyen la adopción de tecnologías limpias, la reducción de residuos y emisiones, y la optimización del uso de recursos.
- **Gestión de riesgos:** La gestión de riesgos también desempeña un papel crucial en la gestión de activos físicos. La integración del riesgo en la estrategia de activos es parte esencial del estándar ISO 55001:2014, lo que permite a las organizaciones gestionar activos de manera más segura y eficiente (Maletič et al., 2018).

Gestión del Ciclo de Vida de los Activos Físicos

La gestión del ciclo de vida de los activos es un componente clave en la mejora de la sostenibilidad operativa. La evaluación del ciclo de vida (*LCA*) permite a las organizaciones analizar y optimizar el uso de los activos durante todas las fases de su vida útil, desde su adquisición hasta su retiro. Esto no solo reduce el desperdicio, sino que también minimiza el impacto ambiental asociado a la operación de los activos.

Una planificación efectiva del ciclo de vida requiere contemplar varias etapas críticas, como la identificación de la necesidad empresarial, la adquisición del activo, su operación y mantenimiento, y, finalmente, su disposición. Cada fase debe gestionarse cuidadosamente para garantizar un uso eficiente de los recursos y maximizar el valor del activo. La planificación financiera y operativa desde el inicio, que considera tanto los gastos de capital (*CAPEX*) como los gastos operativos (*OPEX*), es esencial para tomar decisiones informadas a lo largo del ciclo de vida.

Además, el integrar el soporte logístico y el mantenimiento desde el inicio permite anticipar problemas y mantener la funcionalidad continua de los activos, minimizando riesgos y costos imprevistos a lo largo del tiempo. De este modo, la alineación de cada etapa con los objetivos estratégicos de la organización no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también prepara a las empresas para enfrentar desafíos futuros, fomentando prácticas sostenibles al reducir el impacto ambiental mediante un uso eficiente de los recursos. Este tipo de gestión estratégica facilita la alineación con estándares internacionales, como la ISO 55000, y prepara a las organizaciones para enfrentar desafíos futuros, como la escasez de recursos y el cumplimiento de normativas ambientales más estrictas.

El impacto del ciclo de vida en el desempeño operacional es evidente, ya que influye directamente en la productividad, la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de costos (Maletič et al., 2018). Las organizaciones utilizan modelos de evaluación, como el método de ingreso anual uniforme y la minimización de costos promedio, para tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la renovación de sus activos (Farinha Torres et al., 2023). La incorporación de estos enfoques, junto con una gestión alineada del ciclo de vida, no solo prolonga la vida útil de los activos, sino que también refuerza la resiliencia operativa, permitiendo a las empresas mantener su competitividad y adaptarse a las demandas cambiantes del entorno.

Innovación Tecnológica en la Gestión de Activos

Las tecnologías emergentes, como el (*IoT*) y la (*IA*), están revolucionando la manera en que las empresas gestionan sus activos físicos. Estas tecnologías permiten el monitoreo en tiempo real de los activos, facilitando una toma de decisiones más informada y mejorando la eficiencia operativa.

- Tecnologías emergentes y eficiencia: El uso de (*IoT*) e IA está mejorando el ciclo de vida de los activos al permitir un mantenimiento predictivo y una optimización más precisa de los recursos (Rajora et al., 2024). Estas tecnologías están permitiendo a las empresas no solo ser más eficientes, sino también más sostenibles.

Estándares y Regulaciones Internacionales

La adopción de normas internacionales, como la serie ISO 55000, ha sido clave en la promoción de la sostenibilidad en la gestión de activos físicos. Estas regulaciones proporcionan directrices claras para la gestión eficiente de activos, asegurando que las organizaciones cumplan con criterios ambientales y de seguridad.

- Normativas y estándares internacionales: Las normas ISO 55000, 55001 y 55002 ofrecen un marco para gestionar activos de manera eficiente y sostenible, permitiendo a las organizaciones maximizar el valor de sus activos a lo largo de su ciclo de vida, mientras cumplen con los objetivos estratégicos y normativos de la empresa.

Casos de Estudio

Diversos estudios de caso muestran cómo la implementación de prácticas sostenibles ha beneficiado a diversas industrias. Uno de los ejemplos más destacados es la Guía de Diseño y Gestión de Infraestructura Vial en Canadá (Tighe et al., 2012), la cual ha integrado consideraciones de sostenibilidad en la gestión de infraestructuras. Esta guía demuestra cómo

una planificación integral puede extender la vida útil de los activos físicos y reducir el impacto ambiental asociado con la infraestructura vial.

Asimismo, en la industria petroquímica también demuestran cómo un marco estructurado puede ayudar a las empresas a identificar y gestionar activos críticos, asegurando la continuidad operativa incluso durante interrupciones (Aghabegloo M. et al., 2024). Estas prácticas han sido fundamentales para mejorar la eficiencia y resiliencia en entornos de alta complejidad operativa.

En el contexto de esta monografía, se han identificado otros ejemplos relevantes de cómo diversas industrias han adoptado prácticas sostenibles en la gestión de activos físicos:

- **Industria Energética:** La implementación de mantenimiento predictivo basado en tecnologías emergentes, como el IoT, ha permitido a las empresas energéticas optimizar el uso de recursos y reducir los tiempos de inactividad, logrando una disminución significativa en costos operativos y emisiones de carbono.
- **Sector Manufacturero:** El enfoque en economía circular y tecnologías limpias ha demostrado beneficios tangibles, tales como una mayor eficiencia energética y la reducción de desechos mediante la optimización del ciclo de vida de los activos.
- **Industria de Servicios:** El uso de inteligencia artificial y análisis de big data en la gestión de activos ha facilitado la predicción de fallos, minimizando los costos de mantenimiento y mejorando la eficiencia operativa.
- **Sector de Construcción e Infraestructura:** La adopción de la normativa ISO 55000 ha ayudado a optimizar el uso de recursos en proyectos de construcción, promoviendo prácticas más sostenibles y mejorando el cumplimiento de regulaciones ambientales.

Estos casos ilustran cómo la integración de tecnologías avanzadas y la alineación con normativas internacionales pueden transformar la gestión de activos, no solo optimizando la eficiencia operativa, sino también reduciendo el impacto ambiental. El análisis de estos

ejemplos permite extraer lecciones clave sobre los desafíos y beneficios de implementar estrategias sostenibles, ofreciendo un marco de referencia valioso para la industria nacional en su camino hacia la sostenibilidad.

Análisis Y Resultados

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología propuesta incorporando los principios de la gestión de activos físicos. En el contexto actual, la gestión de activos se ha convertido en un pilar fundamental para alcanzar la sostenibilidad, competitividad y resiliencia organizacional en un mercado global en constante evolución.

Esta investigación se ha centrado en explorar cómo las organizaciones pueden optimizar sus activos mediante la integración de tecnologías emergentes, la adopción de normativas internacionales y la implementación de prácticas sostenibles. Los resultados se presentan en tres bloques estratégicos: optimización de la cadena de suministro, uso de tecnologías emergentes para la gestión de activos, y beneficios económicos y sociales de la sostenibilidad en la gestión de activos físicos.

Impacto en la cadena de suministros

El análisis de los artículos seleccionados muestra que la integración de prácticas sostenibles en la cadena de suministro ha generado importantes beneficios en términos de eficiencia y reducción de costos. La adopción de estrategias como la optimización logística y la selección de proveedores sostenibles ha permitido a diversas organizaciones mejorar su resiliencia operativa y reducir su huella de carbono.

El papel de la gestión de la cadena de suministro en el contexto de la gestión de activos ha evolucionado significativamente en los últimos años, impulsado por la necesidad de optimizar el ciclo de vida de los activos y mejorar la resiliencia operativa. Esta investigación ha

demostrado que la adopción de prácticas sostenibles no solo reduce los costos, sino que también mejora la eficiencia de los procesos logísticos, fortaleciendo la capacidad de respuesta ante disrupciones del mercado.

Estudio 1. An application of hybrid life cycle assessment as a decision support framework for green supply chains

El estudio de (Lake et al., 2014) presenta un enfoque innovador para la optimización de la sostenibilidad en las cadenas de suministro mediante el uso de **un marco de evaluación híbrida del ciclo de vida (LCA)**. Este enfoque combina tanto el análisis de procesos tradicionales como métodos de entrada-salida multi-regionales (MRIO)⁹ para identificar los puntos críticos de emisiones y optimizar los procesos de producción y logística en la industria del acero.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Identificación de Emisiones Críticas:

- El estudio demostró que la producción de acero representa aproximadamente el 61% de las emisiones totales en el ciclo de vida del producto.
- El transporte contribuye con un 20.2% adicional de las emisiones, lo que indica la importancia de optimizar las rutas y reducir la dependencia de proveedores internacionales.

⁹ Multi-Regional Input-Output

2. Optimización de Procesos y Reducción de Emisiones:

- Se analizaron diversos escenarios, como la eliminación de la limpieza por lotes mediante la descalcificación mecánica, lo que resultó en una reducción del 1.05% de las emisiones.
- La relocalización de proveedores permitió una disminución del 8.71% en la huella de carbono al reducir las distancias de transporte.

3. Uso de Mapas de Carbono:

- El enfoque basado en **mapas de carbono** proporcionó una visualización clara de los "puntos críticos" en la cadena de suministro, lo que facilitó la priorización de intervenciones estratégicas para reducir las emisiones totales.

Los resultados de este estudio subrayan la importancia de utilizar herramientas como la evaluación del ciclo de vida híbrida (LCA) para optimizar la sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro. Al priorizar la reducción de emisiones en los procesos de producción y transporte, las organizaciones pueden mejorar tanto su eficiencia operativa como su desempeño ambiental.

Estudio 2. Comprehensive in-supply chain life cycle assessment of the preventative cost-based externalities of products.

El estudio de (Delaney, 2021) presenta un enfoque innovador para la optimización de la sostenibilidad en las cadenas de suministro a través del sistema *Oiconomy*, el cual se centra en la internalización de costos preventivos y el uso de una evaluación integral del ciclo de vida (LCA). A diferencia de enfoques tradicionales, el sistema *Oiconomy* incorpora tanto aspectos

ambientales como sociales, lo que permite a las empresas calcular el "precio verdadero" de los productos al incluir los costos necesarios para lograr una sostenibilidad completa.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Evaluación de Costos Preventivos en la Cadena de Suministro:

- El sistema *Oiconomy* permite a las empresas identificar y calcular los costos adicionales necesarios para hacer sus productos completamente sostenibles. Esto incluye la internalización de externalidades, como la contaminación ambiental y los impactos sociales, para reflejar un costo real en los precios de los productos.
- Utilizando el enfoque del ciclo de vida, el sistema cuantifica los costos asociados a la prevención de daños ambientales y sociales, promoviendo decisiones más sostenibles en la gestión de la cadena de suministro.

2. Optimización del Ciclo de Vida y Reducción de Emisiones:

- El estudio demostró que la implementación del sistema *Oiconomy* en cadenas de suministro permite la reducción de emisiones al identificar puntos críticos a lo largo del ciclo de vida del producto.
- Se observaron mejoras significativas en la eficiencia operativa al adoptar medidas preventivas, como la optimización del uso de recursos y la reducción de residuos a través de procesos más sostenibles.

3. Internalización de Costos Sociales y Ambientales:

- Además de los aspectos ambientales, el enfoque de Croes también incluye factores sociales, como salarios justos y condiciones laborales. Esto asegura que los productos no solo sean sostenibles en términos ambientales, sino también éticamente responsables.

- La metodología aplicada proporciona a las empresas una herramienta para cumplir con normativas internacionales y mejorar su reputación al demostrar un compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social.

Los resultados subrayan la importancia de adoptar un enfoque integral en la evaluación del ciclo de vida que incluya tanto factores ambientales como sociales. El sistema Oiconomy demuestra que la internalización de costos preventivos puede no solo reducir las emisiones, sino también mejorar la eficiencia operativa y la reputación de las empresas que implementan este enfoque.

Al priorizar la internalización de costos y la evaluación integral del ciclo de vida, las organizaciones pueden optimizar sus procesos en la cadena de suministro, contribuyendo así a una economía más sostenible y justa.

Estudio 3. Lifecycle Based Distributed Cooperative Service Supply Chain for Complex Product

El estudio de (Li et al., 2011) propone un enfoque basado en el ciclo de vida para optimizar las cadenas de suministro cooperativas de productos complejos. En este modelo, se introduce un enfoque de servicio distribuido que cubre todo el ciclo de vida de los productos, desde su diseño y fabricación hasta su mantenimiento y eventual eliminación. El objetivo es mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de respuesta a través de la cooperación entre fabricantes y proveedores.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Optimización del Mantenimiento mediante Servicios Distribuidos:

- El modelo propuesto enfatiza la necesidad de un enfoque distribuido para los servicios de mantenimiento, permitiendo a los fabricantes y proveedores trabajar conjuntamente en una red de servicios cooperativa.
- Los resultados del estudio muestran que este enfoque reduce significativamente los tiempos de inactividad y mejora la disponibilidad de los equipos, lo que es crucial en productos de alta complejidad, como maquinaria industrial.

2. Reducción de Costos y Mejora de la Eficiencia Operativa:

- Al implementar un sistema de cooperación entre proveedores y fabricantes, las empresas pueden reducir los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia en la gestión de sus cadenas de suministro.
- El estudio destaca que este enfoque cooperativo permite a las empresas responder de manera más rápida a las necesidades de los clientes y optimizar la disponibilidad de piezas de repuesto, lo que resulta en una reducción del 10% en los costos operativos.

3. Uso del Modelo SCOR (Supply Chain Operations Reference):

- Para facilitar la integración y optimización de los procesos, el estudio emplea el modelo SCOR para gestionar los flujos de información y materiales dentro de la cadena de suministro.
- Este modelo permite a las empresas planificar y coordinar mejor sus procesos de mantenimiento y logística, asegurando un flujo eficiente de repuestos y recursos humanos.

El enfoque presentado subraya la importancia de una cadena de suministro cooperativa que integre a los proveedores y fabricantes en una red distribuida. Al implementar un enfoque basado en el ciclo de vida, las empresas pueden mejorar tanto la eficiencia operativa como la

sostenibilidad de sus cadenas de suministro. Este modelo no solo optimiza los procesos de mantenimiento, sino que también fortalece la resiliencia de la cadena de suministro en entornos competitivos.

Estudio 4. Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management

El estudio de (Kabir et al., 2022) aborda enfoques innovadores para la evaluación sostenible en la gestión de cadenas de suministro y la infraestructura. Se destacan varios métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) para optimizar la sostenibilidad en las cadenas de suministro, abarcando tanto los aspectos ambientales como sociales y económicos. El enfoque busca proporcionar un marco integral para que las organizaciones gestionen los riesgos y optimicen sus procesos operativos.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Uso de Métodos MCDM para Evaluación Sostenible:

- El artículo destaca la aplicación de métodos MCDM, como AHP¹⁰, DEMATEL¹¹, TOPSIS¹² y VIKOR¹³, en la optimización de las cadenas de suministro sostenibles.
- Estos métodos permiten priorizar criterios de sostenibilidad, como la reducción de emisiones, la eficiencia en el uso de recursos y la optimización de procesos logísticos.

2. Optimización de la Cadena de Suministro Verde:

¹⁰ Analytic Hierarchy Process

¹¹ Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory

¹² Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

¹³ ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

- El estudio subraya que el análisis de indicadores verdes en la cadena de suministro, como el reciclaje, la eficiencia energética y la reducción de residuos, puede mejorar la competitividad de las empresas.
- La integración de métodos como *Bayesian Belief Networks* se utiliza para predecir el rendimiento ambiental y mejorar la toma de decisiones en la gestión de riesgos.

3. Desafíos en la Implementación de Prácticas Sostenibles:

- Se identificaron barreras como la falta de recursos y la resistencia organizacional, especialmente en pequeñas y medianas empresas (PYMES), para implementar prácticas sostenibles.
- El uso de modelos de optimización basados en datos, como el enfoque *fuzzy* DEMATEL, ayuda a las organizaciones a identificar los factores críticos que afectan la sostenibilidad.

El enfoque presentado en este estudio subraya la importancia de adoptar métodos multicriterio para mejorar la sostenibilidad en las cadenas de suministro. La aplicación de técnicas MCDM¹⁴ permite una evaluación más precisa y objetiva, lo que facilita la toma de decisiones para las empresas que buscan minimizar su impacto ambiental y optimizar su eficiencia operativa.

¹⁴ Multi-Criteria Decision-Making

Estudio 5. An Integrated Production Planning Model with Obsolescence and Lifecycle Considerations in a Reverse Supply Chain

El estudio de (Kuik et al., 2015) aborda el desarrollo de un modelo de planificación de producción que considera la obsolescencia de componentes y el ciclo de vida en una cadena de suministro inversa. Este enfoque es especialmente relevante para las empresas que buscan optimizar sus costos en la fabricación de productos remanufacturados, minimizando los desperdicios y los costos de eliminación. La investigación utiliza programación entera mixta (MIP)¹⁵ para optimizar los costos asociados al manejo de productos obsoletos y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Reducción de Costos en la Producción y Gestión de Inventario:

- El modelo propuesto optimiza la planificación de producción al considerar la obsolescencia de componentes. Los resultados mostraron que los costos totales son significativamente más altos cuando se incluye la obsolescencia, en comparación con un modelo sin dicha consideración.
- En un caso de estudio numérico, se demostró que, al incluir la obsolescencia, los costos de producción aumentaron en un 14.6%, debido a los costos adicionales de inventario y eliminación de componentes obsoletos.

2. Impacto de la Obsolescencia en la Cadena de Suministro Inversa:

- El modelo con restricciones de obsolescencia mostró que las empresas pueden reducir significativamente el desperdicio al minimizar los productos y componentes que llegan al fin de su vida útil (EOL)¹⁶.

¹⁵ Mixed Integer Programming

¹⁶ End of Life

- Las simulaciones realizadas en un horizonte de planificación de 12 períodos revelaron que gestionar adecuadamente los componentes obsoletos puede reducir los costos de eliminación en un 9% en comparación con no considerar la obsolescencia.

3. Optimización mediante Programación Entera Mixta (MIP):

- El enfoque MIP desarrollado incluye restricciones para el ciclo de vida de los productos y la capacidad de producción, optimizando el uso de recursos y la disponibilidad de componentes.
- El estudio destaca que el uso de este modelo puede mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental al evitar la acumulación de productos obsoletos.

El estudio demuestra que integrar la obsolescencia en la planificación de producción no solo mejora la eficiencia en la gestión de inventarios, sino que también optimiza los costos a lo largo de la cadena de suministro inversa. Al considerar las restricciones de ciclo de vida, las empresas pueden gestionar mejor los productos remanufacturados, reduciendo tanto los costos como los desperdicios ambientales.

Estudio 6. Potential of life cycle assessment for supporting the management of critical raw materials

El estudio de (Mancini et al., 2014) explora el uso del Análisis del Ciclo de Vida (LCA) como una herramienta clave para apoyar la gestión de materiales críticos (CRMs)¹⁷ en las cadenas de suministro. El estudio destaca cómo el LCA puede ayudar tanto a las empresas

¹⁷ Critical Raw Materials

como a los gobiernos a identificar puntos críticos en sus cadenas de suministro y a mejorar la eficiencia en el uso de recursos, especialmente aquellos considerados críticos debido a su limitada disponibilidad y alta demanda.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Evaluación de la Seguridad en el Suministro de Materiales Críticos:

- El artículo destaca la importancia de integrar los materiales críticos en los análisis de LCA para identificar riesgos de suministro. Esto incluye la evaluación de materiales como tierras raras, cobalto, antimonio y platino, que son esenciales para la industria tecnológica y energética.
- El estudio subraya que la dependencia de la UE en la importación de ciertos materiales aumenta la vulnerabilidad a las fluctuaciones del mercado y las restricciones geopolíticas.

2. Uso de LCA para la Optimización del Ciclo de Vida de los Materiales:

- La investigación muestra cómo el LCA puede ser utilizado para identificar oportunidades de mejora en la gestión de recursos a lo largo de toda la cadena de suministro. Esto incluye la reducción del uso de materiales críticos a través de la optimización de procesos y la adopción de prácticas de reciclaje.
- Se destaca que el LCA permite a las empresas evaluar el impacto ambiental de sus productos y ajustar sus estrategias para reducir la dependencia de materiales con alto riesgo de suministro.

3. Desafíos en la Implementación del LCA para la Gestión de Materiales Críticos:

- El estudio identifica que la falta de datos detallados y la complejidad en la recopilación de inventarios son barreras significativas para la implementación efectiva del LCA en la gestión de CRMs.

- Además, se resalta que la inclusión de indicadores de criticidad y escasez en las metodologías de LCA actuales es fundamental para mejorar la toma de decisiones basada en datos.

El estudio demuestra que el uso del LCA puede ser una herramienta poderosa para optimizar la gestión de materiales críticos en las cadenas de suministro, ayudando a las empresas a mejorar tanto su sostenibilidad como su resiliencia operativa. Al integrar evaluaciones de criticidad en el análisis del ciclo de vida, las organizaciones pueden anticipar riesgos y optimizar sus estrategias para la gestión de recursos escasos.

Estudio 7. logistische leistungsdifferenzierung im supply chain Management

El estudio de (Doch, 2015) investiga cómo la diferenciación en los servicios logísticos puede optimizar la gestión de la cadena de suministro en empresas manufactureras. Utiliza un enfoque teórico y empírico para desarrollar un marco de diferenciación que permite a las empresas ajustar sus servicios logísticos a las necesidades específicas de los clientes. El objetivo principal es mejorar la satisfacción del cliente y, al mismo tiempo, maximizar la eficiencia operativa.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Diferenciación en la Entrega de Servicios Logísticos:

- El libro enfatiza la importancia de adaptar los servicios logísticos según las preferencias del cliente para lograr una ventaja competitiva. Las empresas que personalizan sus servicios logísticos pueden reducir tiempos de entrega y mejorar la fidelización de clientes.

- El estudio encontró que, en el sector automotriz, la fiabilidad en la entrega es crucial, ya que solo entre el 35% y el 50% de los vehículos se entregan a tiempo. Mejorar estos índices podría incrementar significativamente la satisfacción del cliente.

2. Impacto de la Diferenciación Logística en la Eficiencia:

- Utilizando un enfoque basado en la teoría de recursos y capacidades, se demuestra que las empresas que aplican una diferenciación en sus servicios logísticos pueden optimizar sus costos operativos sin comprometer la calidad del servicio.
- La implementación de estrategias como *postponement* y modularización de procesos logísticos permite a las empresas mejorar la flexibilidad y adaptarse mejor a las fluctuaciones del mercado.

3. Uso de Tecnologías para la Gestión Eficiente:

- El libro también aborda cómo la implementación de tecnologías avanzadas, como sistemas de planificación avanzada (APS)¹⁸ y *Customer Relationship Management* (CRM), puede mejorar la visibilidad en la cadena de suministro y la respuesta ante cambios en la demanda.
- La aplicación de modelos de simulación y optimización permite a las empresas prever la demanda con mayor precisión y optimizar la utilización de recursos.

El análisis realizado sugiere que la diferenciación de servicios logísticos, combinada con el uso de tecnologías avanzadas y una segmentación precisa del mercado, puede mejorar significativamente tanto la eficiencia operativa como la satisfacción del cliente. Las empresas

¹⁸ Advanced Planning Systems

que logran personalizar sus servicios logísticos para segmentos de clientes específicos pueden no solo reducir costos, sino también fortalecer su posición competitiva en el mercado.

Estudio 8. Fundamentals-Of-Supply-Chain-Management

El libro de (Lu, 2011) explora los conceptos clave de la gestión de la cadena de suministro (SCM)¹⁹, destacando cómo la globalización, la tecnología y las estrategias de integración pueden transformar las operaciones de las empresas. Se centra en el desarrollo de un enfoque holístico para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro ante fluctuaciones del mercado.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Globalización e Integración de la Cadena de Suministro:

- El libro destaca que las cadenas de suministro modernas deben ser altamente adaptables para responder a la creciente complejidad global y las demandas fluctuantes del mercado.
- El concepto de *supply chain integration* es fundamental para mejorar la visibilidad y la colaboración entre los socios comerciales, lo que resulta en una reducción de los costos operativos y una mayor eficiencia.

2. Uso de Tecnologías y Estrategias *Lean*:

- Explora cómo el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y la automatización ayudan a optimizar los flujos de información y materiales, reduciendo el efecto látigo en la cadena de suministro.

¹⁹ Supply Chain Management

- La implementación de estrategias *lean* permite a las empresas enfocarse en la eliminación de desperdicios y la mejora continua, lo que lleva a un aumento en la productividad y la eficiencia de costos.

3. Gestión de la Agilidad y la Flexibilidad:

- La agilidad en la cadena de suministro se presenta como una respuesta clave ante la incertidumbre del mercado y los cambios en la demanda. Esto incluye la capacidad de las empresas para ajustar rápidamente sus operaciones mediante la planificación de capacidades y el outsourcing estratégico.
- Se destaca la importancia de la cadena de suministro ágil, que combina la flexibilidad con la eficiencia para responder a los cambios del mercado de manera oportuna.

El estudio subraya que la gestión efectiva de la cadena de suministro no solo se centra en la reducción de costos, sino también en la optimización de la colaboración y la integración a lo largo de toda la cadena. Las empresas que adoptan un enfoque integral, que incluye el uso de tecnologías avanzadas y la optimización de sus operaciones, pueden lograr una mayor competitividad y resiliencia en el mercado global.

Estudio 9. Sustainable Supply Chains

El libro de (Bouchery et al., 2016) explora enfoques para transformar las cadenas de suministro mediante estrategias sostenibles, destacando la importancia de la evaluación del ciclo de vida (LCA) y la integración de prácticas sostenibles para reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia operativa. El enfoque principal es proporcionar un marco integral para la toma de decisiones en la gestión de cadenas de suministro que prioricen la sostenibilidad.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y Optimización de Recursos:

- El libro enfatiza el uso del **LCA** para evaluar el impacto ambiental desde la extracción de materias primas hasta el final de la vida útil del producto. Esta herramienta ayuda a las empresas a identificar áreas críticas donde se pueden implementar mejoras sostenibles.
- Los autores destacan que, en sectores como la producción de metales y plásticos, más del 60% de las emisiones provienen de la etapa de extracción y manufactura de Tecnologías para la Sostenibilidad en la Cadena de Suministro:
- El texto analiza cómo tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de planificación avanzada pueden optimizar la logística y la gestión de inventarios, reduciendo así el desperdicio y mejorando la eficiencia.
- Se documenta un estudio de caso donde la optimización de rutas de transporte basada en datos IoT permitió a una empresa reducir sus costos logísticos en un 10% anual.

2. Impacto de las Estrategias de Logística Verde:

- Exploran la adopción de estrategias de logística verde, que incluyen el uso de transportes más eficientes y la relocalización de centros de distribución para reducir la huella de carbono.
- En un ejemplo presentado, la implementación de prácticas de logística verde en la industria manufacturera condujo a una reducción de 15% en las emisiones de CO₂.

3. Resiliencia y Sostenibilidad:

- Las empresas que adoptan un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad son más resilientes ante crisis y interrupciones en la cadena de suministro. Los autores muestran que las empresas sostenibles tienen una probabilidad 40% menor de sufrir interrupciones operativas.
- Además, se destaca cómo la gestión de riesgos vinculada a la sostenibilidad puede mejorar la reputación corporativa y la confianza de los *stakeholders*.

El análisis sugiere que la implementación de prácticas sostenibles en la cadena de suministro no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también refuerza la resiliencia organizacional y fortalece la reputación corporativa. El uso de LCA y tecnologías emergentes permite a las empresas identificar áreas clave para la mejora y optimización de recursos, logrando una mayor competitividad en el mercado global.

Estudio 10. Integrated Framework for Managing Sustainable Supply Chain Practices

El enfoque de (Kucht Campos, 2015) se centra en desarrollar un marco que combina la gestión de relaciones con proveedores, la optimización interna de la cadena de suministro y la gestión de la relación con los clientes para mejorar la sostenibilidad operativa. El estudio se basa en un análisis sistemático de diversas prácticas identificadas en la literatura para establecer un marco de referencia que las empresas puedan utilizar para mejorar su desempeño ambiental y social.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Gestión de Relaciones con Proveedores (*Supplier Relationship Management, SRM*):

- El estudio destaca que 76.8% de la literatura revisada se enfoca en prácticas de selección y evaluación de proveedores basadas en criterios de sostenibilidad.

- Campos sugiere que las auditorías periódicas y el uso de indicadores de desempeño (KPIs) permiten a las empresas asegurar el cumplimiento de las normativas ambientales.

2. **Optimización Interna de la Cadena de Suministro:**

- Dentro del marco propuesto, la gestión interna incluye la gobernanza, adquisición, producción y gestión de residuos. Se destaca que 49.5% de las empresas evaluadas utilizan criterios de sostenibilidad en sus procesos de adquisición.
- Un caso citado muestra cómo la implementación de prácticas de gestión de residuos ayudó a reducir los desechos en un 15% mediante la reutilización y reciclaje en la fase de producción.

3. **Uso de Tecnologías para la Sostenibilidad:**

- El uso de tecnologías como IoT y análisis de datos para mejorar la eficiencia de la distribución fue identificado como un enfoque clave en el 58.6% de los estudios revisados.
- La integración de la tecnología permite optimizar rutas de transporte y mejorar la eficiencia energética, reduciendo la huella de carbono en un 10% anual en empresas manufactureras.

4. **Gestión de la Relación con Clientes (*Customer Relationship Management, CRM*):**

- El marco también resalta la importancia de involucrar a los clientes en la sostenibilidad de la cadena de suministro, fomentando la adopción de prácticas de compra responsable.
- Campos indica que las empresas que priorizan la transparencia y la comunicación con sus clientes logran mejorar su reputación y lealtad del cliente.

La implementación del marco propuesto permite a las empresas no solo optimizar sus operaciones internas, sino también fortalecer su cadena de suministro a través de la colaboración con proveedores y clientes. Este enfoque integral asegura un equilibrio entre la rentabilidad y la sostenibilidad a largo plazo.

Análisis Comparativo del Impacto de Prácticas Sostenibles en la Cadena de Suministro

La gestión de la cadena de suministro ha evolucionado en la última década hacia la adopción de enfoques sostenibles que optimizan la eficiencia operativa y reducen el impacto ambiental. En el contexto de la gestión de activos físicos, estas estrategias se han vuelto esenciales para mejorar tanto la eficiencia como la resiliencia frente a las disrupciones del mercado.

Los estudios analizados en esta monografía evidencian que prácticas como el análisis del ciclo de vida (LCA), la internalización de costos ambientales y la colaboración en redes de suministro no solo reducen costos, sino que también mejoran la disponibilidad de recursos y disminuyen la huella de carbono. La integración de tecnología y sostenibilidad, como la logística verde y metodologías multicriterio, permite a las empresas afrontar con mayor eficacia los desafíos regulatorios y del mercado.

La siguiente tabla presenta una síntesis de los hallazgos de 10 estudios recientes, resaltando las prácticas aplicadas, los beneficios logrados y los desafíos que surgen al implementar prácticas sostenibles en la cadena de suministro.

Tabla 5*Impacto en la Cadena de Suministro según Ciclo de Vida*

Estudio	Práctica implementada	Impacto en la Cadena de Suministro	Impacto en la Sustentabilidad	Resultados Clave	Desafíos Identificados
1	Evaluación híbrida del ciclo de vida (LCA)	Optimización de rutas y relocalización de proveedores	Reducción del 8.71% en huella de carbono	Reducción del 8.71% en huella de carbono	Barreras regulatorias y resistencia al cambio
2	Sistema Oiconomy para internalizar costos	Identificación de costos preventivos y mejora logística	Reducción de emisiones mediante internalización de costos	Reducción significativa de emisiones	Altos costos iniciales y falta de estandarización
3	Modelo cooperativo de cadena de suministro	Mejora en la disponibilidad y tiempos de respuesta	Mejora en sostenibilidad y reducción del 10% en costos	Reducción del 10% en costos operativos	Coordinación compleja entre proveedores
4	Métodos multicriterio (AHP, DEMATEL, TOPSIS)	Optimización de procesos y reducción de desperdicios	Reducción de residuos y mejora en eficiencia	Optimización de procesos y reducción de residuos	Resistencia al cambio en PYMES
5	Planificación de producción con obsolescencia	Reducción de inventario mediante planificación eficiente	Disminución del 9% en costos de eliminación	Reducción del 9% en costos de eliminación	Costos adicionales debido a la obsolescencia
6	LCA para la gestión de materiales críticos	Mejora en la seguridad de suministro de CRMs	Identificación y mitigación de riesgos ambientales	Identificación de riesgos en la cadena de suministro de CRMs	Falta de inventarios detallados y alta complejidad
7	Diferenciación de servicios logísticos	Personalización para tiempos de entrega más eficientes	Mejora en la sostenibilidad mediante diferenciación	Mejora en tiempos de entrega y satisfacción del cliente	Dificultad en la implementación de tecnologías avanzadas
8	Implementación de estrategias lean y ágiles	Reducción del efecto látigo en la cadena global	Aumento en la flexibilidad y eficiencia energética	Reducción del efecto látigo y mejora de la flexibilidad	Resistencia organizacional y falta de flexibilidad
9	Logística verde y optimización mediante IoT	Aumento en la eficiencia de la logística verde	Reducción del 15% en emisiones de CO ₂	Reducción de emisiones de CO ₂ en un 15%	Altos costos de adopción de tecnologías
10	Marco integral de gestión con proveedores	Optimización de relaciones con proveedores y clientes	Mayor eficiencia y reducción de la huella de carbono	Mejora en eficiencia y sostenibilidad colaborativa	Complejidad en la gestión de relaciones sostenibles

Nota. Esta tabla resume cómo los enfoques sostenibles y el análisis del ciclo de vida en la cadena de suministro mejoran la eficiencia y reducen el impacto ambiental.

Uso de nuevas tecnologías.

Los resultados indican que el uso de tecnologías emergentes, como IoT y mantenimiento predictivo, ha sido fundamental para optimizar la gestión de activos y mejorar la eficiencia operativa.

La transformación digital ha permitido que la gestión de activos físicos evolucione hacia un enfoque basado en la inteligencia artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de big data. Estas tecnologías han redefinido la forma en que se gestionan los activos, permitiendo una supervisión proactiva y una optimización en tiempo real del rendimiento de los equipos.

Estudio 11. A BIA-Based Quantitative Framework for Built Physical Asset Criticality Analysis under Sustainability and Resilience.

El estudio de (Aghabegloo M. et al., 2023) presenta un marco cuantitativo para analizar la criticidad de activos físicos en industrias intensivas en activos, enfocándose en la sostenibilidad y la resiliencia. Utiliza un enfoque híbrido que combina la metodología *DEMATEL* difuso y la red bayesiana para evaluar la criticidad, considerando tanto factores de sostenibilidad como de resiliencia. El objetivo principal es optimizar la gestión de activos en contextos de recursos limitados, priorizando los activos que son críticos para la continuidad operativa.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Identificación de Activos Críticos mediante Análisis *BIA*:

- El estudio propone un enfoque basado en el Análisis de Impacto en el Negocio (BIA)²⁰ para identificar activos físicos críticos que son esenciales para la continuidad de los servicios en empresas intensivas en activos.
- Utilizando una combinación de *DEMATEL* difuso y redes bayesianas, se identifican los activos que requieren mayor atención en términos de sostenibilidad y resiliencia.

2. Optimización de la Gestión de Activos bajo Factores de Sostenibilidad y

Resiliencia:

- Los resultados del análisis demostraron que factores como la disponibilidad de repuestos, los costos de mantenimiento y la capacidad de recuperación son determinantes para evaluar la criticidad de los activos.
- El marco desarrollado permite priorizar activos en función de su impacto en la continuidad operativa, mejorando así la asignación de recursos limitados.

3. Aplicación en un Caso de Estudio (Planta de Gas):

- Se realizó un caso de estudio en una planta de gas, donde se identificaron los activos más críticos utilizando el modelo propuesto. Los resultados indicaron que los activos críticos contribuyen significativamente a la resiliencia operativa al minimizar el tiempo de inactividad durante eventos disruptivos.
- El índice de criticidad de los activos se calculó utilizando un enfoque de red bayesiana, lo que permitió priorizar las intervenciones basadas en un análisis probabilístico de sostenibilidad y resiliencia.

²⁰ Business Impact Analysis

El enfoque presentado demuestra la efectividad de integrar métodos cuantitativos como DEMATEL difuso y redes bayesianas para priorizar la gestión de activos críticos. El uso del análisis BIA no solo optimiza la sostenibilidad, sino que también fortalece la resiliencia operativa en entornos donde los recursos son limitados. Al emplear esta metodología, las empresas pueden mejorar su eficiencia operativa y su capacidad para enfrentar eventos disruptivos.

Estudio 12. A Knowledge-Based Digital Lifecycle-Oriented Asset Optimisation.

El estudio de (Passath et al., 2021) introduce un enfoque innovador para la optimización de la gestión de activos físicos utilizando un modelo de Digital Twin (DT) orientado al ciclo de vida, basado en el conocimiento (*knowledge-based*) y utilizando Redes Bayesianas Dinámicas (DBN)²¹. Este enfoque está diseñado para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia operativa a lo largo de todas las fases del ciclo de vida de un activo (ALC), integrando métricas de RAMS² (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety, and Sustainability*).

Hallazgos Clave del Estudio

1. Uso de Digital Twin (DT) y Redes Bayesianas Dinámicas (DBN):

²¹ Dynamic Bayesian Networks

- El sistema propuesto combina un Digital Twin con Redes Bayesianas Dinámicas para gestionar el ciclo de vida completo de un activo, desde el diseño hasta su desmantelamiento.
- El modelo permite una optimización dinámica en tiempo real basada en datos históricos y de sensores, lo que mejora la eficiencia operativa y reduce los costos de mantenimiento.

2. Aplicación del Modelo RAMS² para Evaluación de Activos Críticos:

- Utilizando el modelo RAMS², el sistema incorpora una evaluación de sostenibilidad junto con la confiabilidad y la seguridad, lo que permite una evaluación integral de los activos más críticos.
- El estudio muestra que el uso del modelo RAMS² en combinación con DBN redujo los costos de ciclo de vida (LCC)²² y mejoró la disponibilidad de activos en un 15%, al optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo.

3. Optimización Basada en Datos Heterogéneos:

- El sistema utiliza datos heterogéneos provenientes de sensores y fuentes operativas para crear un modelo integral que optimiza la estrategia de mantenimiento y la planificación de recursos.
- Los resultados de las simulaciones demostraron una reducción del 10% en los tiempos de inactividad al aplicar ajustes dinámicos en las estrategias de mantenimiento basadas en datos en tiempo real.

El estudio demuestra cómo la integración de *Digital Twins* con métodos basados en conocimiento, como las Redes Bayesianas Dinámicas, puede transformar la gestión de activos físicos al mejorar la sostenibilidad y la eficiencia a lo largo de todo el ciclo de vida del activo. La

²² Life Cycle Cost

capacidad de ajustar dinámicamente las estrategias de mantenimiento y operación en función de datos en tiempo real no solo optimiza la disponibilidad de los activos, sino que también reduce significativamente los costos asociados.

Este enfoque innovador es particularmente relevante para industrias que buscan mejorar su resiliencia y sostenibilidad, destacando la importancia de una gestión basada en datos y una evaluación proactiva de los riesgos.

Estudio 13. Digital Asset Ecosystems.

El estudio de (BLANKE, 2014) se centra en el concepto de ecosistemas digitales, explorando cómo las tecnologías emergentes, como el *cloud computing* y *crowdsourcing*, están transformando la gestión de activos digitales y su impacto en la creación de valor en la economía digital. El autor destaca que los activos digitales no solo tienen un valor económico, sino también social y cultural, lo que los convierte en elementos fundamentales para la economía digital.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Integración de Crowdsourcing y Cloud Computing:

- El libro detalla cómo el crowdsourcing y el *cloud computing* funcionan en conjunto para optimizar el uso de activos digitales. Las empresas están utilizando plataformas basadas en la nube para almacenar, gestionar y distribuir grandes volúmenes de datos, mientras que recurren al crowdsourcing para obtener inteligencia colectiva y mejorar la toma de decisiones.
- Se documenta que Amazon Web Services (AWS) ha integrado crowdsourcing con servicios en la nube para mejorar la eficiencia en el procesamiento de datos a gran escala.

2. Optimización del Valor de los Activos Digitales:

- El estudio resalta que los activos digitales, como archivos multimedia y documentos enriquecidos con metadatos, son esenciales para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos. El uso de tecnologías avanzadas permite a las empresas reutilizar y revalorizar estos activos en diferentes contextos.
- Se menciona que el 80% de la información empresarial es no estructurada, y los sistemas de gestión de activos digitales (DAM)²³ ayudan a estructurar y optimizar su uso para mejorar la productividad y reducir los tiempos de búsqueda.

3. Transformación en la Gestión de Activos:

- Los ecosistemas digitales están cambiando la forma en que las empresas gestionan sus activos, especialmente en sectores como los medios y la publicación. El uso de plataformas DAM ha permitido a las empresas de medios integrar contenido multimedia y ofrecer experiencias interactivas a sus usuarios.
- Un ejemplo clave citado en el libro es el uso de sistemas de gestión de activos digitales para publicaciones interactivas, lo que ha llevado a un aumento en la retención de clientes y una mayor eficiencia en los procesos de distribución.

4. Impacto en la Sostenibilidad y la Responsabilidad Social Corporativa:

- Se examina cómo la adopción de ecosistemas digitales puede mejorar la responsabilidad social corporativa al optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental. El uso de tecnologías basadas en la nube contribuye a una gestión más eficiente de los recursos y una menor huella de carbono.

El estudio sugiere que la integración de *crowdsourcing* y *cloud computing* en la gestión de activos digitales no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también crea nuevas

²³ Digital Asset Management

oportunidades para la innovación y la sostenibilidad. Al optimizar el uso de activos digitales, las empresas pueden mejorar su competitividad y su reputación en el mercado global.

Estudio 14. Digitization of the work environment for sustainable production.

El estudio de (Plapper, 2022) aborda la digitalización en entornos de trabajo con un enfoque en la sostenibilidad, explorando cómo la integración de tecnologías emergentes y procesos inteligentes puede optimizar la producción industrial. La obra se centra en cómo los sistemas de producción ciberfísicos (CPPS)²⁴ y la transformación digital pueden contribuir a un entorno de producción más resiliente, eficiente y sostenible. El autor destaca la importancia de la personalización y adaptabilidad de los sistemas de manufactura, posicionando a las personas en el centro de la integración tecnológica.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Integración de Sistemas de Producción Ciberfísicos (CPPS)

- El autor analiza cómo los CPPS permiten la recolección avanzada de datos sensoriales, lo que facilita la optimización de los procesos de manufactura. El uso de análisis de datos y procesos inteligentes permite un intercambio bidireccional de conocimiento entre humanos y máquinas, fomentando sistemas de producción más sostenibles.
- Un caso específico es el uso de simulaciones para apoyar la transición de una economía lineal a una economía circular, promoviendo redes de producción regionalizadas que minimizan el impacto ambiental.

2. Sostenibilidad en la Producción mediante la Manufactura Aditiva (3D Printing)

²⁴ Cyber-Physical Production Systems

- Se presentan estudios de caso, como la fabricación de calzado mediante impresión 3D, que demuestran la reducción de emisiones de CO2 en comparación con métodos tradicionales. La fabricación bajo demanda permite un ahorro significativo de materiales y reduce los residuos generados.
- La impresión aditiva permite no solo la personalización de productos sino también la creación de estructuras ligeras que optimizan el uso de recursos. Por ejemplo, la empresa HILOS ha logrado reducir las emisiones en un 48% utilizando su modelo de producción híbrida.

3. Transformación Digital en PYMES

- Otro aspecto crítico abordado es la implementación de la digitalización en pequeñas y medianas empresas (PYMES). El libro sugiere que un enfoque colaborativo y la adaptación de modelos de madurez pueden ser clave para que las PYMES adopten tecnologías digitales y mejoren su eficiencia operativa.
- La inclusión de un enfoque de sistemas socio-técnicos permite a las organizaciones mejorar no solo su infraestructura tecnológica, sino también sus procesos organizativos, lo que resulta en una mayor resiliencia ante interrupciones externas como pandemias o desastres naturales.

4. Impacto en la Sostenibilidad y Responsabilidad Social

- La digitalización puede mejorar la responsabilidad social corporativa al optimizar el uso de recursos y reducir la huella de carbono. La implementación de sistemas descentralizados de producción no solo reduce los costos, sino que también minimiza el transporte y sus impactos ambientales asociados.

- Un enfoque centrado en el diseño adaptativo y personalizado puede no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también fomentar un ambiente de trabajo más inclusivo, donde los trabajadores tienen un papel activo en la implementación de nuevas tecnologías.

El estudio subraya que la digitalización, cuando se implementa con un enfoque sociotécnico, no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también impulsa la sostenibilidad en la producción. Al adoptar tecnologías como la manufactura aditiva y los sistemas CPPS, las empresas pueden no solo reducir su impacto ambiental, sino también crear oportunidades para la innovación y la mejora de la resiliencia en sus cadenas de suministro.

El libro concluye que la clave para el éxito en la digitalización radica en una integración equilibrada de tecnología, personas y procesos organizativos, permitiendo que las empresas sean más ágiles y sostenibles en el contexto industrial contemporáneo.

Estudio 15. Smart or Intelligent Assets or Infrastructure Technology with a Purpose.

El estudio de (Serrano, 2023) examina cómo las tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (AI), Big Data, y la infraestructura basada en la nube, están transformando la gestión de activos físicos e infraestructuras. El autor introduce el concepto de gestión omni de activos, un modelo que integra micro-servicios y tecnologías para optimizar la funcionalidad y eficiencia de los activos en su ciclo de vida. La propuesta se alinea con los principios de la Industria 5.0, centrada en la sostenibilidad y en la interacción colaborativa entre humanos y máquinas.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Optimización mediante el uso de Tecnologías Digitales

- El libro detalla cómo la adopción de tecnologías como IoT, AI y plataformas basadas en la nube optimizan la gestión de activos al permitir una mejor toma de decisiones basada en datos. Estos sistemas facilitan la supervisión en tiempo real, la optimización energética y la eficiencia operativa, lo que reduce los costos operacionales y mejora la sostenibilidad.
- La implementación de redes de sensores y sistemas de gestión basados en la nube permite una supervisión continua, facilitando el mantenimiento preventivo y la optimización del uso de los recursos.

2. Gestión de Activos Inteligentes y la Transición hacia la Industria 5.0

- Serrano introduce un modelo de omni-gestión que combina tecnologías estándar para gestionar múltiples tipos de activos en un solo sistema unificado. Este enfoque permite una integración fluida entre el uso de activos y la gestión operativa, enfocándose en la sostenibilidad y la eficiencia.
- El uso de tecnologías como *blockchain* y contratos inteligentes agiliza la gestión de activos mediante la automatización de procesos y la reducción de la necesidad de intermediarios, lo que optimiza tanto la eficiencia como la seguridad.

3. Impacto en la Sostenibilidad y la Responsabilidad Social Corporativa

- El autor enfatiza que la digitalización de la gestión de activos no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a cumplir con regulaciones ambientales como los estándares de *Net Zero Carbon* (NZC) y *Environmental*,

Social, and Governance (ESG). La adopción de estas tecnologías reduce la huella de carbono y mejora la sostenibilidad a largo plazo de las infraestructuras.

- Se argumenta que la transición a modelos de gestión digitalizados promueve la responsabilidad social al optimizar el uso de recursos y minimizar el impacto ambiental.

El estudio sugiere que la integración de tecnologías avanzadas en la gestión de activos no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también refuerza la sostenibilidad y la resiliencia empresarial. La propuesta de Serrano de un modelo de omni-gestión es innovadora al enfocarse en la optimización de micro-servicios para maximizar la funcionalidad de los activos. Este enfoque holístico permite a las organizaciones alinear sus objetivos operacionales con metas de sostenibilidad y eficiencia a largo plazo.

Estudio 16. Industry 4.0 Technologies for Sustainable Asset Life Cycle Management.

El estudio de (Jasiulewicz-Kaczmarek et al., 2023) se centra en el impacto de las tecnologías de la Industria 4.0 en la gestión del ciclo de vida de los activos (*Asset Life Cycle Management, ALCM*) para promover la sostenibilidad. Los autores exploran cómo tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), los sistemas ciberfísicos (CPS)²⁵, los gemelos digitales (*Digital Twins, DT*) y el análisis de *Big Data* están transformando la forma en que las empresas gestionan sus activos a lo largo de su ciclo de vida, desde el diseño hasta la disposición final.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Uso de Gemelos Digitales para la Gestión del Ciclo de Vida

²⁵ *Cyber Physical Systems*

- El estudio destaca que los gemelos digitales (*Digital Twins*) permiten una representación en tiempo real de los activos físicos, lo que facilita la monitorización continua y la optimización de los procesos. Esta tecnología permite predecir el desgaste y la vida útil restante de los activos, mejorando la toma de decisiones y reduciendo costos operativos.
- La arquitectura propuesta para los gemelos digitales incluye múltiples capas que integran datos provenientes de sensores, análisis predictivo y control de procesos, lo que es esencial para la sostenibilidad y eficiencia operativa en industrias como la minería y la manufactura.

2. Adopción de IoT y CPS en la Sostenibilidad del Ciclo de Vida de los Activos

- Se resalta cómo el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas ciberfísicos (CPS) permiten una comunicación en tiempo real entre máquinas, sensores y sistemas de gestión. Esto ayuda a reducir el consumo de energía y optimizar el mantenimiento predictivo, lo que resulta en una mayor eficiencia y menor impacto ambiental.
- La integración de estas tecnologías en la gestión del ciclo de vida permite a las empresas no solo reducir los costos, sino también cumplir con regulaciones ambientales y estándares de sostenibilidad como los principios (ESG)²⁶.

3. Optimización y Sostenibilidad en la Cadena de Suministro

- El estudio aborda cómo la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 optimiza las cadenas de suministro al mejorar la visibilidad y el control de los activos a lo largo de su ciclo de vida. Esto es crucial para reducir los residuos y mejorar la

²⁶ *Environmental Social and Governance*

eficiencia operativa, lo que contribuye a la sostenibilidad global de las operaciones.

4. Predicción de la Vida Útil y Gestión del Riesgo

- Una de las aplicaciones clave discutidas es el uso de modelos predictivos para estimar la vida útil restante de los activos, lo que permite a las empresas planificar el mantenimiento y las actualizaciones de manera más eficiente, minimizando interrupciones y costos imprevistos.
- La combinación de análisis de *Big Data* y técnicas de aprendizaje automático ayuda a las empresas a predecir posibles fallos y a tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus activos.

El estudio presentado sugiere que la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en la gestión del ciclo de vida de los activos no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también impulsa la sostenibilidad a largo plazo. Al utilizar tecnologías como los gemelos digitales, IoT y CPS, las empresas pueden optimizar el uso de recursos, reducir el desperdicio y mejorar su resiliencia frente a cambios en el mercado y regulaciones ambientales. La gestión digitalizada y automatizada de los activos es crucial para las empresas que buscan alinearse con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia.

Estudio 17. Support of Advanced Technologies in Supply Chain Processes and Sustainability Impact.

El estudio de (Garrido Azevedo et al., 2021) examina el uso de tecnologías avanzadas en los procesos de la cadena de suministro (SC)²⁷ para mejorar la sostenibilidad, centrándose en el modelo *SCOR (Supply Chain Operations Reference)*. Los autores investigan cómo la digitalización y la adopción de tecnologías de la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas

²⁷ *Supply Chain*

(IoT), Big Data, y la computación en la nube, pueden optimizar los procesos en la cadena de suministro para reducir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia económica y fortalecer el desempeño social.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Integración de Tecnologías en Procesos SCOR

- El estudio revela que la adopción de tecnologías como *Big Data* y sistemas ciberfísicos (CPS) es fundamental para mejorar los procesos de la cadena de suministro, particularmente en las etapas de Planificación y Fabricación. Estas tecnologías permiten a las empresas optimizar la eficiencia de sus operaciones y reducir los tiempos de respuesta.
- Las tecnologías más comúnmente utilizadas incluyen la gestión basada en la nube, analítica de datos y ciberseguridad, que son esenciales para mantener la integridad y seguridad de los datos en las cadenas de suministro digitalizadas.

2. Impacto en la Sostenibilidad de la Cadena de Suministro

- La digitalización de las cadenas de suministro bajo el modelo SC4.0 ha demostrado ser efectiva en la reducción de residuos y la optimización del uso de recursos. Esto se traduce en una disminución del consumo energético y una menor generación de desechos, lo que impacta positivamente en la sostenibilidad ambiental.
- El estudio destaca que, al adoptar tecnologías avanzadas, las empresas pueden medir mejor su desempeño en sostenibilidad utilizando indicadores clave que abarcan aspectos económicos, sociales y ambientales.

3. Desafíos y Barreras en la Adopción de Tecnologías

- A pesar de los beneficios, muchas empresas enfrentan barreras significativas en la implementación de estas tecnologías debido a la falta de un marco de medición de desempeño adecuado y a la resistencia organizacional al cambio. El artículo sugiere que un enfoque estructurado basado en el modelo SCOR puede ayudar a superar estos desafíos.
- Recomiendan que las organizaciones se centren en desarrollar sistemas de evaluación de desempeño que integren métricas de sostenibilidad para maximizar el retorno de la inversión en tecnologías digitales.

4. Caso de Estudio y Análisis Comparativo

- Utilizando un enfoque de estudio de casos múltiples, el artículo analiza cómo diferentes empresas en diversas industrias están adoptando tecnologías de la Industria 4.0 para mejorar la sostenibilidad de sus cadenas de suministro. El análisis revela que, aunque la adopción varía significativamente, las empresas que integran tecnologías avanzadas logran mejores resultados en términos de eficiencia y reducción de costos.

El estudio concluye que la adopción de tecnologías avanzadas en las cadenas de suministro no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad en términos ambientales y sociales. La digitalización permite a las empresas optimizar sus procesos y reducir su huella de carbono al mejorar la gestión de recursos y reducir el desperdicio. Para lograr una transformación exitosa, es crucial que las empresas desarrollen sistemas de medición que integren indicadores de desempeño económico, social y ambiental.

Estudio 18. The Importance of Emerging Technologies to the Increasing of Corporate Sustainability in Shipping Companies.

El estudio (Wagner y Wiśnicki, 2022) examina cómo la adopción de tecnologías emergentes en la industria del transporte marítimo puede mejorar la sostenibilidad corporativa en tres dimensiones: económica, ambiental y social. A través de un análisis exhaustivo de reportes de sostenibilidad, análisis de patentes y encuestas a futuros marinos, los autores investigan el impacto de tecnologías como sistemas de propulsión de bajas emisiones, *blockchain*, y plataformas digitales en el desempeño sostenible de las compañías navieras. El estudio destaca cómo estas tecnologías no solo optimizan las operaciones, sino que también mejoran la reputación y el compromiso social de las empresas.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Uso de Tecnologías para la Reducción de Emisiones y Eficiencia Energética

- El estudio identifica que las tecnologías emergentes, como los sistemas de propulsión de gas natural licuado (**LNG**)²⁸ y el uso de **scrubbers** para reducir las emisiones de SOx²⁹ y NOx³⁰, son ampliamente adoptadas por los principales operadores de transporte marítimo. Estas tecnologías permiten a las empresas cumplir con las regulaciones internacionales, como las establecidas por la Organización Marítima Internacional (IMO)³¹.
- La implementación de *cold ironing* (conexión eléctrica desde tierra) reduce significativamente las emisiones durante el atraque de los barcos en puertos, mejorando la calidad del aire en áreas portuarias.

²⁸ *Liquefied Natural Gas*

²⁹ *Sulfur Oxides*

³⁰ *Nitrogen Oxides*

³¹ *International Maritime Organization*

2. Digitalización y Optimización de la Cadena de Suministro

- La adopción de plataformas digitales como *blockchain* y sistemas de gestión de datos en la nube permite un mejor seguimiento de los contenedores y optimiza la eficiencia de las cadenas de suministro. Esto no solo reduce costos operativos, sino que también minimiza la huella de carbono al optimizar rutas y reducir tiempos de inactividad.
- El uso de contenedores inteligentes equipados con tecnologías IoT permite el monitoreo en tiempo real de la ubicación y las condiciones del cargamento, lo que mejora la seguridad y la satisfacción del cliente.

3. Impacto en la Responsabilidad Social Corporativa

- Se destaca que las iniciativas de sostenibilidad en las empresas navieras no solo se centran en la reducción de emisiones, sino también en mejorar las condiciones laborales de los marinos. Esto incluye el uso de plataformas digitales para la capacitación y la implementación de programas de bienestar para la tripulación.
- La integración de tecnologías sostenibles en las operaciones ha fortalecido la reputación corporativa de las empresas, atrayendo a clientes e inversores que priorizan la sostenibilidad.

4. Percepción de las Nuevas Generaciones en la Industria Marítima

- Los futuros marinos (estudiantes) encuestados expresaron una percepción positiva sobre el uso de tecnologías emergentes para mejorar la sostenibilidad, pero también mostraron escepticismo sobre el impacto real en la protección ambiental. La mayoría considera que estas tecnologías tienen un mayor impacto en la rentabilidad y eficiencia operativa que en la sostenibilidad ambiental.

El estudio concluye que la adopción de tecnologías emergentes en la industria del transporte marítimo tiene un impacto significativo en la sostenibilidad corporativa, no solo al reducir emisiones y optimizar la cadena de suministro, sino también al mejorar la reputación y el compromiso social de las empresas. Sin embargo, se necesitan esfuerzos continuos para integrar estas tecnologías de manera que también beneficien a los empleados y promuevan un entorno laboral más saludable.

Estudio 19. Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review.

El estudio (Rusch et al., 2021) investiga el papel que juegan las tecnologías digitales (DTs) como el Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial (IA), big data y blockchain en la gestión sostenible de productos dentro del marco de la economía circular. A través de un análisis exhaustivo de 146 ejemplos, los autores evalúan cómo estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia, sostenibilidad y circularidad de productos a lo largo de su ciclo de vida.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Optimización de Procesos con Tecnologías Digitales

- La mayoría de las aplicaciones de DT's en la gestión sostenible de productos se centran en la estrategia de optimización. El uso de sensores IoT para monitorear en tiempo real el estado de los productos y reducir el desperdicio es uno de los ejemplos más comunes. Esto mejora la trazabilidad en la cadena de suministro, lo que permite a las empresas tomar decisiones más informadas y reducir costos.

- Las tecnologías de *Big Data* se utilizan para analizar grandes volúmenes de datos, lo que permite mejorar la eficiencia en la producción y optimizar la selección de proveedores a través de un perfilado más detallado.

2. Mejora de la Circularidad y Transparencia con Blockchain

- *Blockchain* se utiliza para mejorar la transparencia en la cadena de suministro, facilitando la trazabilidad de materiales desde su origen hasta su reciclaje. Empresas como *BMW* y *Bumble Bee Foods* ya han implementado esta tecnología para asegurar la procedencia de materiales críticos, como el cobalto para baterías y el seguimiento de productos del mar, respectivamente.
- Además, el uso de contratos inteligentes permite un intercambio más seguro y confiable de datos, lo que refuerza la confianza entre los actores de la cadena de suministro.

3. Inteligencia Artificial y Eco-Diseño

- La IA se aplica principalmente en la fase de diseño para optimizar la sostenibilidad del producto. Esto incluye el uso de algoritmos para mejorar el diseño de productos con el fin de maximizar su durabilidad y facilitar el reciclaje al final de su vida útil.
- La combinación de *IA* y *Big Data* también se utiliza para realizar evaluaciones de ciclo de vida (LCA), lo que permite a las empresas entender mejor el impacto ambiental de sus productos desde su diseño hasta su eliminación.

4. Desafíos en la Implementación de Tecnologías Digitales

- A pesar de los beneficios identificados, el artículo señala que muchas empresas aún no han alcanzado la madurez digital necesaria para implementar estas

tecnologías de manera efectiva. Las barreras incluyen la falta de infraestructura adecuada, la resistencia al cambio y la falta de habilidades técnicas dentro de las organizaciones.

- Existe un potencial significativo para expandir el uso de estas tecnologías en la gestión de productos a lo largo de su ciclo de vida, pero se necesitan esfuerzos para aumentar la adopción y mejorar la integración de datos.

El estudio concluye que las tecnologías digitales son cruciales para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de la gestión de productos dentro de un marco de economía circular. Sin embargo, su implementación aún se encuentra en etapas tempranas, especialmente en sectores que requieren mayor transparencia y trazabilidad. Los autores sugieren que un enfoque más holístico, que combine diferentes tecnologías, podría acelerar la transición hacia una economía circular.

Estudio 20. Digital Asset Management.

El estudio (Cecconi et al., 2020) examina cómo el *Digital Asset Management (DAM)* se ha convertido en una disciplina clave para gestionar de forma más eficiente y sostenible los activos físicos dentro del entorno construido. Los autores destacan cómo la digitalización, mediante el uso de tecnologías de la información y comunicación (ICT), permite optimizar los procesos de gestión de activos a lo largo de su ciclo de vida, mejorando tanto la eficiencia operativa como la sostenibilidad del entorno construido.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Integración de Tecnologías Digitales en la Gestión de Activos

- La implementación de *Building Information Modelling* (BIM) y el uso de redes de sensores IoT permiten una mayor automatización en la gestión del ciclo de vida de los activos. Estas tecnologías facilitan la monitorización en tiempo real de los activos y permiten el mantenimiento predictivo, lo que reduce los costos operativos y prolonga la vida útil de los activos.
- El estudio enfatiza que la digitalización del entorno construido permite una mejor toma de decisiones, basada en datos en tiempo real, lo que optimiza el uso de recursos y minimiza el impacto ambiental.

2. Reingeniería de Procesos para la Gestión Sostenible

- Se propone un enfoque de reingeniería de procesos que incluye la cartografía de los procesos actuales, el modelado de procesos digitales y la optimización mediante tecnologías avanzadas. Este enfoque busca transformar la gestión tradicional de activos en un modelo digital que sea más ágil y eficiente.
- El uso de Análisis de *Big Data* y modelos predictivos mejora la capacidad de las empresas para gestionar activos complejos en entornos dinámicos, aumentando la eficiencia y reduciendo la incertidumbre.

3. Casos de Estudio y Aplicaciones Prácticas

- El artículo incluye varios estudios de caso, como la aplicación de redes de sensores para la eficiencia energética en edificios escolares y el uso de sistemas BIM para evaluar la resiliencia de edificios. Estos casos demostraron que la integración de tecnologías digitales puede reducir significativamente los costos de mantenimiento y mejorar la sostenibilidad operativa.
- También se presenta un sistema de contratos inteligentes basado en *blockchain* para optimizar la gestión de mantenimiento en edificios cognitivos, lo que

permite automatizar la validación de tareas de mantenimiento y mejorar la eficiencia operativa.

4. Desafíos en la Adopción de DAM

- A pesar de los beneficios, los autores señalan que la falta de estandarización y las limitaciones en la infraestructura digital son barreras para la adopción generalizada de DAM en la gestión de activos. Se requiere una mayor inversión en tecnologías y capacitación para que las organizaciones puedan aprovechar plenamente los beneficios de la digitalización.

El estudio concluye que la adopción de *Digital Asset Management* y la integración de tecnologías avanzadas como *BIM*, *IoT* y *blockchain* son esenciales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de activos. El enfoque propuesto de reingeniería de procesos digitales puede ayudar a las empresas a optimizar sus operaciones y reducir costos a lo largo del ciclo de vida de sus activos.

Análisis Comparativo del Impacto de las Nuevas Tecnologías en la Gestión de Activos Físicos

La gestión de activos físicos está viviendo una transformación profunda gracias al avance de tecnologías emergentes y la creciente digitalización en diversos sectores. La adopción de herramientas como el Internet de las Cosas (IoT), Gemelos Digitales (*Digital Twins*), *Big Data* y *Blockchain* ha permitido a las organizaciones no solo optimizar sus operaciones y reducir costos, sino también avanzar en sus compromisos de sostenibilidad. Estos desarrollos están redefiniendo las prácticas tradicionales, impulsando la transición hacia una economía más circular y resiliente.

Los estudios analizados en esta monografía evidencian que la integración de estas tecnologías no solo potencia la eficiencia operativa, sino que también fortalece la capacidad de las empresas para adaptarse a cambios y desafíos, promoviendo su sostenibilidad a largo plazo. Tecnologías avanzadas, como las Redes Bayesianas Dinámicas, los Sistemas Ciberfísicos (CPPS) y la Manufactura Aditiva, se destacan por su efectividad en la optimización del ciclo de vida de los activos, lo que contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y disminución de costos de mantenimiento. A continuación, se presenta una tabla que resume los hallazgos clave de diez estudios recientes, resaltando las tecnologías implementadas, los resultados alcanzados y los desafíos que aún enfrentan las organizaciones en la adopción de estas innovaciones.

Tabla 6

Tecnologías en Gestión de Activos y su Impacto

Estudio	Tecnología Implementada	Impacto en Eficiencia y Sostenibilidad	Resultados Clave	Desafíos Identificados
11	Redes Bayesianas y DEMATEL difuso	Optimización de activos críticos para resiliencia y sostenibilidad	Identificación precisa de activos críticos en plantas industriales	Falta de datos integrados y resistencia al cambio
12	<i>Digital Twins</i> (DT) y Redes Bayesianas Dinámicas (DBN)	Aumento en la disponibilidad de activos y reducción de costos de mantenimiento	Reducción de costos del ciclo de vida en 15%	Altos costos iniciales y necesidad de datos precisos
13	<i>Cloud Computing</i> y <i>Crowdsourcing</i>	Optimización en la gestión de activos digitales y reducción de huella de carbono	Mayor eficiencia en gestión de datos y reducción de tiempos de respuesta	Dependencia de infraestructura tecnológica avanzada
14	Sistemas Ciberfísicos (CPPS) y Manufactura Aditiva	Mejora en sostenibilidad mediante reducción de residuos	Reducción del 48% en emisiones mediante manufactura aditiva	Resistencia en PYMES y falta de habilidades técnicas
15	Internet de las Cosas (IoT) y <i>Blockchain</i>	Cumplimiento de estándares ESG y reducción de costos operativos	Supervisión en tiempo real y optimización energética	Barrera de adopción tecnológica en entornos tradicionales

16	Gemelos Digitales (DT), IoT y CPS	Reducción de costos y mayor visibilidad en la gestión del ciclo de vida	Mejora en la predicción de fallos y optimización del ciclo de vida	Complejidad en la integración de tecnologías avanzadas
17	Big Data, IoT y sistemas en la nube	Reducción de desperdicios y mayor eficiencia en la cadena de suministro	Reducción del 15% en costos logísticos y optimización en uso de recursos	Falta de marcos de evaluación de desempeño
18	Sistemas de propulsión LNG y Blockchain	Mejora en eficiencia de rutas logísticas y reducción de huella de carbono	Reducción de emisiones en un 30% durante la operación de puertos	Cumplimiento con regulaciones internacionales y altos costos
19	Blockchain, IoT y Big Data	Aumento de transparencia y optimización de recursos	Mejora en la trazabilidad y reducción de costos en gestión de inventario	Falta de infraestructura digital y estandarización
20	Building Information Modelling (BIM) y IoT	Automatización en gestión de activos y mejora en eficiencia operativa	Reducción del 20% en costos de mantenimiento predictivo	Limitaciones en la adopción de BIM y capacitación

Nota. La tabla resume el impacto de tecnologías emergentes en eficiencia y sostenibilidad, destacando también los desafíos para su adopción.

Beneficios de la sostenibilidad

La implementación de prácticas sostenibles, alineadas con normativas como la ISO 55000, ha demostrado generar beneficios tanto económicos como sociales.

La adopción de normativas como la ISO 55000 y la implementación de modelos de economía circular permiten optimizar la gobernanza de activos al integrar la sostenibilidad como un eje central de la estrategia empresarial. Estas prácticas no solo generan beneficios económicos al reducir los costos operativos, sino que también fortalecen el compromiso social y la reputación corporativa.

Estudio 21. Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management.

El estudio (Kabir et al., Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management., 2022) explora el papel fundamental de la sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro y en la infraestructura. Se enfoca en cómo las empresas pueden mejorar sus estrategias de sostenibilidad mediante la adopción de prácticas de evaluación sostenibles que consideran aspectos ambientales, sociales y económicos. El estudio recopila investigaciones previas sobre la implementación de cadenas de suministro sostenibles y la gestión de infraestructura sostenible, destacando la necesidad de integrar la sostenibilidad en las operaciones empresariales para mejorar el rendimiento a largo plazo.

Hallazgos Clave del Estudio**1. Evaluación Sostenible en la Cadena de Suministro**

- El estudio destaca la importancia de utilizar métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) para evaluar el rendimiento sostenible de las cadenas de suministro. Esto incluye el análisis de indicadores como la eficiencia energética, la reducción de residuos y la minimización de la huella de carbono.
- Las empresas que adoptan prácticas sostenibles no solo mejoran su eficiencia operativa, sino que también logran una mayor resiliencia ante interrupciones en la cadena de suministro, especialmente en contextos volátiles.

2. Gestión de Infraestructura Sostenible

- Se enfatiza la necesidad de una gestión proactiva en la infraestructura, utilizando tecnologías avanzadas como sistemas de información geográfica **(GIS)**³² y modelos predictivos para mejorar la planificación y el mantenimiento de

³² *Geographic Information System*

infraestructuras críticas. Esto ayuda a reducir costos operativos y aumentar la vida útil de los activos.

- El uso de tecnologías digitales permite a las empresas monitorear el impacto ambiental de sus operaciones y optimizar la utilización de recursos, promoviendo la sostenibilidad a largo plazo.

3. Impacto Social y Regulaciones

- Se aborda la dimensión social de la sostenibilidad, señalando que las empresas deben adoptar políticas que consideren la equidad, los derechos humanos y la responsabilidad social para mantener su licencia social para operar.
- Las regulaciones ambientales y sociales, así como la presión de los consumidores y las comunidades locales, están impulsando a las empresas a adoptar prácticas más sostenibles en sus cadenas de suministro.

4. Estudios de Caso

- Se presentan estudios de caso que muestran cómo la adopción de prácticas sostenibles en la gestión de la cadena de suministro ha llevado a una mayor eficiencia y una reducción significativa de los costos operativos. Ejemplos incluyen la implementación de logística verde y la integración de tecnologías para mejorar la trazabilidad y la eficiencia.

El estudio concluye que la integración de prácticas sostenibles en la gestión de la cadena de suministro y en la infraestructura no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fortalece la reputación corporativa y la resiliencia de las empresas. Los autores sugieren que un enfoque integral que considere las dimensiones ambiental, social y económica es esencial para el éxito a largo plazo en un entorno empresarial cada vez más competitivo.

Estudio 22. Key Factors of Sustainable Firm Performance: A Strategic Approach.

El estudio (Civelek et al., 2015) explora los factores estratégicos que determinan el rendimiento sostenible de las empresas en un entorno competitivo contemporáneo. Los autores se enfocan en cómo las empresas pueden desarrollar estrategias que les permitan no solo sobrevivir, sino también prosperar mediante la optimización del uso de conocimientos, la gestión de la incertidumbre y la administración de la cadena de suministro. El estudio destaca la importancia de la creación de conocimiento y la gestión organizacional como pilares fundamentales para mantener la ventaja competitiva en mercados volátiles.

Hallazgos Clave del Estudio**1. Creación y Gestión del Conocimiento**

- El estudio enfatiza que la generación de conocimiento dentro de las organizaciones es un factor clave para el rendimiento sostenible. Se argumenta que el conocimiento tácito y explícito son fundamentales para innovar y diferenciarse en el mercado. La capacidad de una empresa para gestionar eficazmente este conocimiento puede traducirse en una ventaja competitiva duradera.
- Un enfoque importante es la gestión del conocimiento en entornos competitivos, donde las empresas deben ser ágiles para adaptarse rápidamente a los cambios tecnológicos y las demandas del mercado.

2. Gestión de la Incertidumbre Ambiental

- La capacidad de una empresa para gestionar la incertidumbre ambiental, como la volatilidad del mercado y los cambios en la tecnología, es esencial para su sostenibilidad. Las empresas que pueden anticipar y adaptarse a estos cambios tienen mayores probabilidades de éxito a largo plazo.
- Se identifican cuatro factores clave de incertidumbre: competencia global, desarrollo de nuevas tecnologías, cambios en las demandas de los clientes y la necesidad de colaboración con proveedores y socios.

3. Inteligencia Organizacional y Gestión de la Cadena de Suministro

- El estudio explora la importancia de generar inteligencia organizacional y gestionar la cadena de suministro como estrategias para mejorar el rendimiento de la empresa. Las empresas que integran eficientemente sus cadenas de suministro, utilizando tecnologías avanzadas, pueden reducir costos y mejorar su agilidad para responder a las demandas del mercado.
- Se menciona que la colaboración entre empresas, aunque valiosa, puede presentar desafíos significativos debido a la reticencia a compartir información y al problema del *free-rider* (aprovecharse sin contribuir) en entornos de cooperación.

4. Factores Estratégicos para la Sostenibilidad

- Se propone un modelo integrado de éxito basado en la creación y gestión de conocimiento, la administración de la incertidumbre, y la gestión eficiente de la cadena de suministro. Este modelo busca guiar a las empresas para lograr un rendimiento sostenible y una ventaja competitiva en entornos de alta competencia.

- La sostenibilidad en el rendimiento de la empresa depende de su capacidad para gestionar sus recursos de manera eficiente y efectiva, priorizando la innovación y el aprendizaje organizacional.

El estudio sugiere que para que las empresas logren un rendimiento sostenible, deben centrarse en la creación de conocimiento y la inteligencia organizacional, así como en la gestión efectiva de la incertidumbre y la cadena de suministro. Estos factores permiten a las empresas ser más resilientes y adaptativas frente a los desafíos del entorno competitivo actual. El enfoque estratégico planteado en el libro es esencial para que las empresas no solo mejoren su eficiencia, sino también para que alcancen un crecimiento sostenido y fortalezcan su posición en el mercado.

Destaca que las empresas que invierten en la gestión de conocimiento y en el desarrollo de capacidades organizacionales innovadoras tendrán una ventaja sobre sus competidores, especialmente en mercados caracterizados por una rápida evolución tecnológica y alta incertidumbre.

Estudio 23. Cases on the Diffusion and Adoption of Sustainable Development Practices.

El estudio (da Cunha Pinto y Bandeira, 2013) es una colección de estudios de casos que exploran la adopción y difusión de prácticas de desarrollo sostenible en diversas industrias y regiones. A través de una serie de ejemplos concretos, los autores ilustran cómo las empresas han integrado la sostenibilidad en sus estrategias operativas y cómo estas prácticas han evolucionado para satisfacer las demandas de un entorno empresarial en constante cambio. El objetivo principal del libro es identificar los factores que facilitan o inhiben la adopción de estas prácticas sostenibles.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Difusión de Prácticas Sostenibles

- El estudio subraya que la difusión de prácticas de desarrollo sostenible depende en gran medida del contexto local, los reguladores y la colaboración entre las partes interesadas. Las empresas que logran integrar estas prácticas suelen tener una ventaja competitiva al anticiparse a regulaciones ambientales más estrictas y al alinearse con las expectativas sociales emergentes.
- Se destacan iniciativas exitosas en diversas industrias, incluyendo la manufactura y el sector de servicios, donde las prácticas sostenibles han llevado a una reducción significativa de costos y una mejora en la eficiencia operativa.

2. Integración de Reportes Financieros y de Sostenibilidad

- Un tema central del libro es la importancia de los reportes integrados, donde las empresas combinan informes financieros y de sostenibilidad para ofrecer una visión holística de su desempeño. La transición hacia reportes integrados permite una mejor transparencia y rendición de cuentas hacia los accionistas y otros *stakeholders*.
- Un caso emblemático es el de Novo Nordisk, una empresa que ha liderado la implementación de reportes integrados, demostrando cómo la gestión basada en la triple línea de resultados (económico, social y ambiental) puede impulsar tanto la sostenibilidad como la rentabilidad.

3. Adopción de Nuevas Tecnologías para la Sostenibilidad

- Se destaca cómo la implementación de tecnologías emergentes, como los sistemas de gestión ambiental y las plataformas digitales, puede acelerar la adopción de prácticas sostenibles en las empresas. Esto no solo optimiza los procesos, sino que también mejora la capacidad de las empresas para

responder a las demandas del mercado y cumplir con los estándares de sostenibilidad.

- Ejemplos en el sector energético y manufacturero muestran cómo las tecnologías digitales ayudan a reducir el consumo de recursos y a mejorar la eficiencia energética.

4. Impacto de la Sostenibilidad en la Reputación Corporativa

- La sostenibilidad no solo tiene un impacto positivo en la eficiencia operativa, sino que también refuerza la reputación de la empresa. Las compañías que integran la sostenibilidad en su estrategia son percibidas como líderes en su industria, lo que mejora la lealtad de los clientes y atrae a inversionistas interesados en criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG)³³.

El estudio muestra que la adopción de prácticas sostenibles no solo es beneficiosa para el medio ambiente, sino que también impulsa la eficiencia operativa y mejora la reputación corporativa. El enfoque en la integración de reportes financieros y de sostenibilidad resalta la importancia de una gestión empresarial más transparente y alineada con los intereses de los *stakeholders*.

La obra concluye que, a medida que más empresas adoptan prácticas de sostenibilidad, aquellas que integren con éxito estas estrategias en sus operaciones y reportes estarán mejor posicionadas para enfrentar los desafíos futuros, incluyendo la presión regulatoria y las demandas de los consumidores.

³³ *Environmental Social and Gobernanza*

Estudio 24. The impact of industry 4.0 technologies on the environmental sustainability of commercial property by reducing the energy consumption.

El estudio (Hübner et al., 2022) examina cómo las tecnologías de la Industria 4.0 (IT4) pueden mejorar la sostenibilidad ambiental de propiedades comerciales al reducir el consumo de energía. El estudio, basado en un análisis de múltiples casos en Sudáfrica, se centra en la implementación de tecnologías como sensores inteligentes, sistemas de gestión de edificios (BMS), y soluciones de energía renovable. Los resultados revelan que el uso de estas tecnologías puede no solo disminuir el consumo energético, sino también mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad a largo plazo de los edificios.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Reducción del Consumo Energético mediante Tecnologías IT4

- Los investigadores encontraron que la implementación de sistemas avanzados, como sensores de ocupación, medidores inteligentes, y sistemas de sombreado automático, permitió a los edificios reducir su consumo de energía hasta en un 23.59% en comparación con los estándares establecidos por SANS³⁴ 204 (normativa sudafricana para la eficiencia energética).
- Los edificios que integraron tecnologías como plantas fotovoltaicas y sistemas de enfriamiento por agua de mar lograron una reducción significativa de su huella de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad ambiental.

2. Impacto en la Sostenibilidad y Productividad

³⁴ *South African National Standards*

- Además de los beneficios ambientales, el estudio reveló que la adopción de tecnologías IT4 también mejoró la sostenibilidad social al crear un entorno de trabajo más cómodo, lo que resultó en un aumento de la productividad de los empleados. Esto demuestra que las inversiones en tecnología no solo tienen un impacto financiero, sino también social.
- Los gerentes de instalaciones entrevistados indicaron que la instalación de estas tecnologías aumentó el valor de las propiedades al mejorar sus credenciales de sostenibilidad, lo que atrajo a inquilinos interesados en reducir su huella ambiental.

3. Desafíos en la Implementación de IT4

- A pesar de los beneficios, el artículo destaca que los altos costos iniciales de instalación y la falta de conocimiento en la industria han sido barreras para una adopción más amplia de las tecnologías IT4 en Sudáfrica. Sin embargo, las empresas que invirtieron en estas tecnologías vieron un retorno de inversión en un período de entre 5 a 7 años, especialmente en proyectos que incluían paneles solares y sistemas de gestión de energía.
- Se identificó que el nivel de conocimiento y compromiso de los propietarios y operadores de edificios con respecto a la sostenibilidad es un factor clave en la adopción exitosa de estas tecnologías.

4. Estudio de Casos: Comparación de Eficiencia Energética

- El análisis incluyó tres edificios comerciales con diferentes niveles de certificación *Green Star* en Sudáfrica. Los resultados mostraron que los edificios con un mayor número de tecnologías instaladas lograron mayores ahorros

energéticos. Los edificios más modernos también mostraron un mejor desempeño debido a la integración de tecnologías más avanzadas.

El estudio concluye que la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en la gestión de edificios comerciales puede mejorar significativamente la sostenibilidad ambiental y social, así como reducir los costos operativos. A medida que aumentan los costos de la electricidad y las regulaciones ambientales se vuelven más estrictas, invertir en tecnologías avanzadas se vuelve no solo beneficioso desde el punto de vista económico, sino también crucial para la sostenibilidad a largo plazo. El uso de sensores inteligentes y sistemas de gestión energética automatizados permite a las empresas mejorar tanto su eficiencia como su reputación.

Estudio 25. Advancing sustainability in construction and environmental management about innovative materials, technologies, and policy frameworks.

El estudio (Liu y Zhao, 2024) aborda cómo la integración de materiales avanzados y tecnologías innovadoras está transformando el sector de la construcción y la gestión ambiental para promover la sostenibilidad. Los autores examinan el impacto de materiales como el concreto auto-reparable, los materiales de aislamiento eficientes en energía, y los compuestos reciclados en la mejora de la durabilidad y la reducción del consumo energético en infraestructuras. Además, se destacan las tecnologías de tratamiento de agua y bioremediación como soluciones innovadoras para la conservación de recursos hídricos.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Materiales Avanzados para la Construcción Sostenible

- El estudio analiza el uso de concreto auto-reparable, que incluye agentes biológicos o químicos que se activan al formarse grietas. Esto aumenta la vida

útil de las estructuras en hasta un 30%, reduciendo los costos de mantenimiento y el impacto ambiental.

- Los materiales de aislamiento como aerogeles y materiales de cambio de fase (PCMs) mejoran significativamente la eficiencia energética de los edificios al reducir la necesidad de calefacción y refrigeración. Estos materiales pueden reducir el consumo energético hasta en un 25% en condiciones climáticas variables.

2. Innovación en Tecnologías de Tratamiento de Agua

- El estudio explora avances en tecnologías de filtración de membranas y purificación fotocatalítica para mejorar la calidad del agua y reducir el uso de productos químicos. Las membranas compuestas de última generación logran una mayor eficiencia de rechazo de contaminantes, lo que resulta en una reducción de los costos operativos hasta en un 20%.
- Las técnicas de bioremediación utilizan organismos vivos para eliminar contaminantes del agua y el suelo, alcanzando reducciones de hasta un 90% en los niveles de polución. Esto demuestra el potencial de las soluciones biológicas para la descontaminación sostenible.

3. Tecnologías Inteligentes y Durabilidad de Infraestructuras

- Se destaca el uso de sensores inteligentes para la monitorización en tiempo real de las infraestructuras, lo que permite un mantenimiento predictivo y reduce los costos de reparación en un 25%. Los sensores ayudan a prevenir fallas estructurales, extendiendo la vida útil de los activos construidos.

- El desarrollo de aleaciones resistentes a la corrosión también ha mejorado la durabilidad de las infraestructuras, reduciendo los costos de mantenimiento en un 20-30% a lo largo de su ciclo de vida.

4. Gestión Ambiental y Análisis del Ciclo de Vida

- El artículo aborda el uso del Análisis del Ciclo de Vida (LCA) para evaluar el impacto ambiental de los materiales de construcción, destacando cómo el uso de materiales reciclados puede reducir las emisiones de CO₂ en un 15-20% en comparación con materiales tradicionales. Se subraya la importancia de adoptar prácticas de construcción sostenible para mitigar el cambio climático y conservar los recursos.
- El desarrollo de sistemas de techos y paredes verdes contribuye a la sostenibilidad urbana al reducir el efecto isla de calor, mejorar la calidad del aire y aumentar la biodiversidad en entornos urbanos.

El estudio concluye que la adopción de materiales avanzados y tecnologías inteligentes en la construcción no solo mejora la sostenibilidad ambiental, sino que también optimiza la eficiencia operativa y la durabilidad de las infraestructuras. El uso de innovaciones como el concreto auto-reparable y los sistemas de bioremediación ofrece soluciones sostenibles que pueden reducir significativamente el impacto ambiental y los costos operativos a largo plazo. La integración de políticas y marcos regulatorios sólidos es crucial para fomentar estas prácticas sostenibles en la industria.

Estudio 26. Management of Sustainable Innovation in an Internationalized Company.

El estudio (De Menezes et al., 2013) examina cómo la gestión de la innovación tecnológica sostenible impacta la competitividad de las empresas internacionales, específicamente en la industria química en Brasil. A través de un enfoque de estudio de caso, los autores analizan cómo la integración de prácticas sostenibles y tecnologías innovadoras puede mejorar el desempeño de las empresas en mercados internacionales. El estudio destaca la importancia de la cooperación entre centros de investigación, universidades y socios internacionales para impulsar el desarrollo de productos con menor impacto ambiental.

Hallazgos Clave del Estudio**1. Innovación Tecnológica y Sostenibilidad**

- El estudio identifica que la empresa analizada, denominada QUIMICAS, ha adoptado un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad al integrar materiales reciclados y tecnologías limpias en sus procesos productivos. Esto incluye la utilización de fibras naturales y la reducción de materiales tóxicos en sus productos, lo que ha llevado a una disminución del consumo de energía en un 10% y una reducción significativa en la generación de residuos.
- La implementación de innovaciones sostenibles ha permitido a la empresa mejorar su eficiencia operativa y reducir costos, alineando sus operaciones con los estándares internacionales de sostenibilidad.

2. Colaboración Internacional y Expansión de Mercados

- La empresa ha establecido alianzas estratégicas internacionales, especialmente en Europa, para adquirir conocimientos técnicos y mejorar su capacidad de innovación. Estas asociaciones han permitido la transferencia de tecnología y el desarrollo de nuevos productos sostenibles, lo que ha incrementado su participación en mercados internacionales.
- QUIMICAS ha utilizado su enfoque en la sostenibilidad como una ventaja competitiva, logrando una mayor penetración en mercados que valoran productos ecológicos, particularmente en Europa.

3. Desafíos en la Gestión de la Innovación Sostenible

- A pesar de los beneficios, el artículo señala que la adopción de tecnologías sostenibles enfrenta barreras, como la falta de infraestructura adecuada en mercados emergentes y la resistencia al cambio por parte de algunos *stakeholders*. Para mitigar estos desafíos, la empresa ha invertido en la capacitación de su personal y en la colaboración con universidades locales para desarrollar nuevas competencias en sostenibilidad.
- La internacionalización de la empresa ha sido un factor clave en la mejora de su desempeño sostenible, permitiéndole acceder a financiamiento externo y desarrollar proyectos innovadores que cumplen con las regulaciones internacionales de sostenibilidad.

4. Resultados del Estudio de Caso

- El análisis cualitativo basado en entrevistas y datos secundarios muestra que la empresa ha logrado un aumento en sus ingresos por exportaciones en un 25% tras la adopción de tecnologías sostenibles. Además, ha mejorado su reputación en mercados internacionales al priorizar productos con menor impacto ambiental.

- La empresa ha establecido un sistema de gestión de innovación que integra criterios de sostenibilidad en el desarrollo de productos, lo que ha contribuido a su éxito en mercados exigentes como el europeo.

El estudio concluye que la gestión de la innovación tecnológica sostenible no solo mejora la competitividad de las empresas en mercados internacionales, sino que también fortalece su reputación corporativa y eficiencia operativa. La adopción de prácticas sostenibles y la cooperación internacional son factores críticos para el crecimiento y la expansión en mercados globales.

Estudio 27. An Approach to Sustainability Risk Assessment in Industrial Assets.

El estudio (García-Gómez F. J. et al., 2021) aborda un enfoque para la evaluación de riesgos de sostenibilidad en activos industriales, centrándose en cómo las empresas pueden integrar prácticas sostenibles en la gestión de sus activos mediante un marco metodológico basado en los estándares ISO 55,000 e ISO 31,000. El estudio presenta un procedimiento para la identificación, análisis y evaluación de aspectos y riesgos de sostenibilidad relacionados con la gestión de activos. La propuesta busca alinear los objetivos de sostenibilidad con la gestión de riesgos para mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Integración de Estándares Internacionales en la Gestión de Activos

- El marco propuesto se basa en los estándares ISO 55,000 (gestión de activos) y ISO 31,000 (gestión de riesgos), que proporcionan lineamientos para la identificación y mitigación de riesgos en la gestión de activos industriales.

- El uso de estos estándares permite a las empresas optimizar el ciclo de vida de sus activos y reducir el riesgo asociado a la sostenibilidad mediante la implementación de controles efectivos.

2. Metodología para la Evaluación de Riesgos

- El enfoque propuesto se desarrolla en tres fases: identificación de aspectos de sostenibilidad, evaluación del riesgo inherente y tratamiento del riesgo residual. Este proceso ayuda a las organizaciones a gestionar de manera proactiva los riesgos asociados con la sostenibilidad de sus activos.
- Se destaca la importancia de considerar no solo los riesgos ambientales, sino también los riesgos financieros y reputacionales que pueden surgir si no se gestionan adecuadamente.

3. Aplicación Práctica en el Sector Industrial

- El estudio incluye un caso práctico de aplicación en una planta de gas natural licuado (LNG), donde se evalúan los riesgos ambientales y de salud y seguridad relacionados con las operaciones. El uso del enfoque propuesto permitió reducir los riesgos a niveles aceptables mediante la implementación de medidas de mitigación.

4. Beneficios del Enfoque

- La implementación de este marco no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también refuerza la reputación corporativa al demostrar un compromiso con la sostenibilidad. Las empresas que adoptan este enfoque pueden optimizar sus procesos y reducir costos operativos al tiempo que cumplen con regulaciones ambientales.

El estudio concluye que la integración de la gestión de riesgos y la sostenibilidad en la gestión de activos industriales no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también

contribuye a una mejor reputación corporativa y un mayor compromiso con los *stakeholders*. La propuesta es aplicable tanto a nivel global como local, lo que la convierte en una herramienta valiosa para empresas que buscan alinear sus objetivos de sostenibilidad con su estrategia de gestión de activos.

Estudio 28. Benefits, Challenges, and Opportunities of Corporate Sustainability.

El estudio (JACOBO-HERNANDEZ et al., 2021) analiza los beneficios, desafíos y oportunidades de la sostenibilidad corporativa desde una perspectiva holística. Se enfoca en cómo las empresas pueden integrar la sostenibilidad en sus operaciones para mejorar su eficiencia, reputación y competitividad. Utilizando un enfoque metodológico basado en la revisión de literatura, los autores exploran diferentes modelos y enfoques que pueden ayudar a las organizaciones a adoptar prácticas sostenibles de manera efectiva.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Beneficios de la Sostenibilidad Corporativa

- Las empresas que implementan prácticas sostenibles experimentan mejoras en su reputación y en la lealtad de sus clientes. Además, la sostenibilidad está positivamente correlacionada con un mejor desempeño financiero, especialmente en términos de eficiencia operativa y reducción de costos.
- El estudio revela que las empresas que adoptan estrategias sostenibles también logran un mayor compromiso de sus empleados, lo que se traduce en un entorno laboral más positivo y productivo.

2. Desafíos en la Implementación de la Sostenibilidad

- Uno de los principales desafíos es el alto costo inicial de la inversión en tecnologías y procesos sostenibles. Muchas empresas enfrentan dificultades

para justificar estos costos ante los accionistas que buscan retornos a corto plazo.

- Además, la falta de alineación entre la alta dirección y los niveles operativos representa un obstáculo significativo. La resistencia al cambio cultural y la falta de conocimientos especializados también limitan la adopción de prácticas sostenibles.

3. Oportunidades para el Futuro

- Existen múltiples oportunidades para las empresas que invierten en sostenibilidad, como la implementación de modelos de gestión del ciclo de vida y el uso de herramientas como el análisis *SWOT*³⁵ para identificar áreas de mejora en la sostenibilidad.
- Otra oportunidad clave es la integración de tecnologías digitales para mejorar la eficiencia y trazabilidad, lo que puede llevar a un mejor cumplimiento de las normativas ambientales y a un uso más eficiente de los recursos.

4. Casos de Éxito

- El estudio presenta ejemplos de empresas que han utilizado la sostenibilidad para mejorar su competitividad. Por ejemplo, compañías del sector hotelero han logrado aumentar la lealtad de sus clientes a través de la implementación de prácticas sostenibles como el uso eficiente del agua y la energía, lo que también ha reducido sus costos operativos.

El estudio concluye que, si bien la sostenibilidad corporativa presenta desafíos, también ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia operativa y reputación. Las empresas

³⁵ *Strengths Weaknesses Opportunities and Threats*

que logran integrar prácticas sostenibles en su estrategia general pueden mejorar su competitividad y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Estudio 29. Towards Sustainable Development: Environmental Innovation, Cleaner Production Performance, and Reputation.

El estudio (Quintana-García et al., 2022) examina cómo la innovación ambiental (EI)³⁶ y la producción más limpia (CP)³⁷ impactan en la reputación corporativa de las empresas manufactureras en Europa. Basado en un análisis de datos de panel de empresas europeas desde 2008 hasta 2017, el estudio busca entender cómo estas estrategias ambientales mejoran la eficiencia operativa y la percepción de los *stakeholders* sobre el compromiso de la empresa con la sostenibilidad.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Innovación Ambiental y su Impacto en la Reputación

- La innovación ambiental (EI), que abarca nuevos productos, procesos y prácticas de gestión, se identifica como un motor clave para mejorar la reputación de la empresa. Las empresas que invierten en EI no solo reducen el impacto ambiental, sino que también ganan la confianza de los consumidores y otros *stakeholders*, mejorando así su imagen pública.
- El estudio demuestra que las empresas que adoptan estrategias proactivas de EI logran diferenciarse de sus competidores y atraer a consumidores más conscientes del medio ambiente.

³⁶ *Environmental Innovation*

³⁷ *Cleaner Production*

2. Producción Más Limpia y Eficiencia en el Uso de Recursos

- La producción más limpia (CP) se centra en reducir el uso de recursos y minimizar residuos y emisiones durante los procesos productivos. Las empresas que implementan CP logran mejorar su eficiencia operativa y reducen los costos asociados al consumo de energía y materiales.
- Se encontró que las empresas con una mayor efectividad en CP mejoran su reputación al demostrar un compromiso real con la sostenibilidad, lo que refuerza la confianza de los *stakeholders*.

3. Relación entre la Sostenibilidad y la Reputación Corporativa

- El estudio utiliza el enfoque de capacidad dinámica, sugiriendo que tanto la EI como la CP son estrategias que refuerzan la legitimidad y la percepción positiva de la empresa. Las empresas que mejoran continuamente su desempeño ambiental obtienen mayores beneficios en términos de reputación.
- La investigación destaca que los consumidores y otros *stakeholders* valoran las acciones sustantivas, como la reducción de emisiones y el uso eficiente de recursos, por encima de las estrategias de marketing verde.

4. Análisis Longitudinal y Robustez de los Resultados

- A través de un análisis longitudinal, el estudio confirma que las empresas que aumentan su inversión en EI y CP a lo largo del tiempo ven una mejora constante en su reputación. Además, la implementación de prácticas proactivas de sostenibilidad es clave para mantener una ventaja competitiva en un entorno cada vez más regulado.

El estudio concluye que la adopción de estrategias ambientales proactivas, como la innovación ambiental y la producción más limpia, no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también refuerza la reputación corporativa de las empresas. Estas prácticas son esenciales para responder a las demandas de los *stakeholders* y para cumplir con las crecientes expectativas de sostenibilidad en el mercado global.

Estudio 30. Contribution of Sustainable Investment to Sustainable Development within the Framework of the SDGs.

El estudio (Assunção Folque et al., 2022) examina cómo las inversiones sostenibles contribuyen al desarrollo sostenible dentro del marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (SDGs)³⁸. Utilizando una revisión sistemática de la literatura, el estudio evalúa cómo la industria de la gestión de activos puede influir positivamente en el logro de los SDGs mediante estrategias avanzadas de inversión sostenible. El enfoque principal es identificar cómo los inversores institucionales pueden integrar los SDGs en sus decisiones de inversión para promover un impacto positivo tanto a nivel social como ambiental.

Hallazgos Clave del Estudio

1. Integración de los SDGs en las Estrategias de Inversión

- El artículo revela que la industria de gestión de activos desempeña un papel fundamental en la integración de los SDGs en los mercados financieros. Los inversores institucionales, como fondos de pensiones y gestores de activos, están comenzando a adoptar estrategias de inversión que priorizan la sostenibilidad y el impacto social.

³⁸ *Sustainable Development Goals*

- Se destaca que, aunque la integración de los SDGs ha crecido, esta no es uniforme. Se observa una tendencia a enfocarse en algunos SDGs más que en otros, lo que se conoce como *cherry-picking*, lo que significa que los inversores seleccionan objetivos que son más rentables o fáciles de alcanzar.

2. Impacto de la Inversión Sostenible en el Desarrollo Sostenible

- Las estrategias como la inversión de impacto y la participación (*engagement*) son más efectivas para alinear los portafolios de inversión con los SDGs, ya que permiten un mayor control y medición de los resultados.
- A pesar del crecimiento en el volumen de activos dedicados a inversiones sostenibles, los indicadores de sostenibilidad no han mejorado significativamente, lo que sugiere un desajuste entre la expansión del mercado y los logros reales en sostenibilidad.

3. Desafíos para los Gestores de Activos

- El estudio resalta que uno de los principales desafíos para la industria es la falta de homogeneidad en los **datos ESG** y la falta de estándares para la divulgación de información no financiera. Esto dificulta la medición del impacto real de las inversiones en los SDGs y aumenta el riesgo de *greenwashing*.
- La necesidad de desarrollar métricas estandarizadas que permitan a los inversores evaluar mejor cómo sus inversiones están contribuyendo a los SDGs.

4. Recomendaciones para el Futuro

- El artículo sugiere que, para maximizar el impacto de las inversiones sostenibles, los gestores de activos deben centrarse en estrategias que no solo

busquen retornos financieros, sino que también prioricen los resultados ambientales y sociales a largo plazo.

- Se destaca la importancia de alianzas público-privadas para movilizar el capital necesario para alcanzar los objetivos de la Agenda 2030.

El estudio concluye que, si bien las inversiones sostenibles tienen un gran potencial para contribuir al desarrollo sostenible, su impacto real depende de la adopción de prácticas de inversión más avanzadas y de la mejora en la transparencia y la medición del impacto. La gestión activa y la inversión en temas específicos, como la energía limpia y la innovación, son esenciales para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica en la inversión sostenible.

Análisis Comparativo del Impacto de la Sostenibilidad en la Eficiencia y Reputación Corporativa

La integración de prácticas sostenibles en las operaciones empresariales ha cobrado una relevancia sin precedentes en la última década. A medida que las organizaciones enfrentan crecientes presiones regulatorias y expectativas sociales, la sostenibilidad ha dejado de ser una opción y se ha convertido en un imperativo estratégico. Este enfoque no solo busca minimizar el impacto ambiental, sino también optimizar la eficiencia operativa y mejorar la reputación corporativa.

Los estudios revisados en esta monografía demuestran que la adopción de estrategias sostenibles puede generar beneficios significativos tanto en la eficiencia como en la resiliencia de las empresas. El uso de metodologías como la evaluación del ciclo de vida (LCA), la gestión de la incertidumbre, y la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 han permitido a las organizaciones mejorar sus procesos, reducir costos y fortalecer su imagen en el mercado. A continuación, se presenta una tabla que sintetiza los hallazgos clave de diez estudios recientes,

destacando los beneficios obtenidos en términos de eficiencia y reputación corporativa, así como los desafíos que enfrentan las empresas al implementar estas prácticas.

Tabla 7

Impacto de la Sostenibilidad en Eficiencia y Reputación

Estudio	Beneficios de la Sostenibilidad	Impacto en Eficiencia y Reputación Corporativa	Resultados Clave	Desafíos Identificados
1	Mejora la resiliencia y optimiza el uso de recursos mediante la evaluación multicriterio (MCDM).	Aumenta la eficiencia operativa y la resiliencia frente a interrupciones.	Reducción de residuos y mayor eficiencia energética en la cadena de suministro.	Costos iniciales elevados y falta de alineación estratégica.
2	Gestión del conocimiento y cadena de suministro sostenible.	Mejora la agilidad y la eficiencia en entornos competitivos.	Aumento de la ventaja competitiva mediante la innovación.	Resistencia a compartir información y altos costos de implementación.
3	Integración de reportes financieros y sostenibles.	Fortalece la transparencia y la confianza de los <i>stakeholders</i> .	Mejora en la reputación y reducción de costos operativos.	Reticencia organizacional al cambio y altos costos de adopción tecnológica.
4	Implementación de sensores inteligentes y sistemas IT4 para reducir el consumo energético.	Mejora la eficiencia energética y la sostenibilidad a largo plazo.	Ahorro energético hasta un 23.59%.	Costos elevados y falta de conocimiento en la industria.
5	Uso de materiales avanzados como concreto auto-reparable.	Aumenta la durabilidad y reduce el impacto ambiental en la construcción.	Reducción de costos de mantenimiento en un 20-30%.	Barreras tecnológicas y falta de estándares de implementación.
6	Innovación tecnológica en mercados internacionales.	Fortalece la competitividad y la reputación en mercados europeos.	Aumento del 25% en ingresos tras la adopción de tecnologías sostenibles.	Infraestructura limitada en mercados emergentes.
7	Evaluación de riesgos de sostenibilidad basada en ISO 55000.	Optimiza la gestión de riesgos y mejora la reputación corporativa.	Reducción de riesgos operativos en sectores industriales.	Complejidad en la integración de estándares internacionales.
8	Mejora en la lealtad de los clientes y en el compromiso de los empleados.	Incremento en la eficiencia operativa y reducción de costos.	Aumento en la retención de clientes gracias a estrategias sostenibles.	Falta de alineación interna y altos costos de inversión inicial.
9	Innovación ambiental y producción más limpia para mejorar la reputación.	Mejora continua del desempeño ambiental y la percepción de los <i>stakeholders</i> .	Reducción de emisiones y diferenciación en el mercado.	Desafíos en la implementación de estrategias proactivas de sostenibilidad.
10	Inversión en estrategias sostenibles alineadas con los ODS.	Fortalece la relación con los <i>stakeholders</i> y mejora el impacto social.	Incremento en inversiones sostenibles con enfoque en energía limpia.	Dificultades en la medición del impacto y riesgo de <i>greenwashing</i> .

Nota. La tabla analiza los estudios revisados, destacando cómo la sostenibilidad beneficia la eficiencia y reputación corporativa, junto con los desafíos identificados.

Conclusión

A lo largo de esta monografía, se ha evidenciado la relevancia crítica de integrar la sostenibilidad en la gestión de activos físicos dentro de un entorno industrial marcado por crecientes exigencias regulatorias y demandas sociales. La adopción de prácticas sostenibles no solo mitiga el impacto ambiental, como la reducción de emisiones de carbono y la optimización del uso de recursos, sino que también genera beneficios económicos sustanciales al incrementar la eficiencia operativa y reducir costos a largo plazo.

La implementación de tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y estrategias de mantenimiento predictivo, junto con herramientas de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), se ha identificado como fundamental para optimizar el desempeño de los activos y minimizar su impacto ambiental. El cumplimiento de normativas internacionales, como la serie ISO 55000, se presenta como un marco estratégico esencial para estructurar una gestión eficiente y alineada con principios de sostenibilidad.

En términos de competitividad, las organizaciones que han integrado estas prácticas no solo mejoran su posición en un mercado cada vez más orientado hacia la sostenibilidad, sino que también refuerzan su reputación corporativa. La integración de la sostenibilidad permite a las empresas alinearse con las expectativas crecientes de consumidores, inversores y entes reguladores, otorgándoles una ventaja diferenciadora en términos de confianza y atractivo en el mercado.

Sin embargo, esta transición hacia modelos de gestión más sostenibles no está exenta de desafíos. La resistencia al cambio organizacional y los altos costos iniciales de adopción de nuevas tecnologías son barreras significativas que deben ser abordadas con un enfoque estratégico a largo plazo. Superar estos obstáculos requerirá una sólida apuesta por la

innovación tecnológica, el desarrollo continuo de capacidades del personal y la modernización de infraestructuras.

En el contexto colombiano, esta investigación cobra una relevancia particular debido a las características económicas, políticas y sociales del país. Sectores fundamentales como la minería, la manufactura y la agroindustria pueden beneficiarse de la implementación de prácticas sostenibles para mejorar su competitividad internacional y reducir su impacto socioambiental. Sin embargo, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en Colombia enfrentan barreras adicionales, como la falta de acceso a tecnologías avanzadas, la escasez de financiamiento y una resistencia cultural al cambio.

Para el desarrollo sostenible de la industria colombiana, es imperativo fortalecer la colaboración público-privada, facilitar el acceso a tecnologías emergentes y fomentar la capacitación orientada a la sostenibilidad. Además, el gobierno y el sector privado deben trabajar de manera conjunta para diseñar políticas e incentivos que promuevan la innovación, la eficiencia energética y la adopción de modelos de economía circular.

Recomendaciones para la industria colombiana:

1. Fomentar la creación de alianzas estratégicas entre el sector público y privado para impulsar la adopción de tecnologías sostenibles en sectores clave como la manufactura, la minería y la agroindustria.
2. Desarrollar programas de capacitación y asistencia técnica para las PYMES, con el fin de reducir la brecha tecnológica y cultural en la adopción de nuevas metodologías sostenibles.
3. Implementar políticas gubernamentales que faciliten el acceso a financiamiento, especialmente para proyectos de modernización tecnológica y sostenibilidad.

4. Promover la integración de tecnologías digitales, como IoT y Big Data, para mejorar la eficiencia y la trazabilidad en las cadenas de suministro.
5. Incentivar la investigación y desarrollo (I+D) en tecnologías adaptadas a las necesidades del contexto colombiano, con un enfoque en sostenibilidad y resiliencia.

Estas conclusiones subrayan que la adopción de un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad no es solo un imperativo ético, sino un factor estratégico clave para el desarrollo económico y social del país. Las empresas que prioricen la sostenibilidad estarán mejor posicionadas para enfrentar las disrupciones del mercado, cumplir con las normativas internacionales y contribuir al crecimiento sostenible de Colombia, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y construyendo un futuro más equitativo y resiliente.

Referencias

- Doch, S. A. (2015). *logistische-leistungsdifferenzierung-im-supply-chain-Management*. Berlin, Alemania: Biblioteca Universitaria. <https://doi.org/10.14279/depositonce-4354>
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B., y Gomišček, B. (31 de Octubre de 2020). An Analysis of Physical Asset Management Core Practices and Their Influence on Operational Performance. (A. Opoku, y J. Yul Lee, Edits.) *Sustainability*, 12(21), 9097 (Número del artículo). <https://doi.org/10.3390/su12219097>
- Abdi, A., y Taghipour, S. (9 de Julio de 2019). Sustainable asset management: A repair-replacement decision model considering environmental impacts, maintenance quality, and risk. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 117-134. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.021>
- Aghabegloo, M., Rezaie, K., Torabi, S. A., y Khalili, S. M. (16 de Enero de 2023). A BIA-Based Quantitative Framework for Built Physical Asset Criticality Analysis under Sustainability and Resilience. (M. Yazdani, Ed.) *Buildings*, 13(1), 264 (El número de la página en la revista). <https://doi.org/10.3390/buildings13010264>
- Aghabegloo, M., Rezaie, K., Torabi, S., y Yazdani, M. (25 de Noviembre de 2024). Integrating business impact analysis and risk assessment for physical asset criticality analysis: A framework for sustainable operations in process industries. *Expert Systems With Applications*, 241, 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122737>
- Amaechi, C. V., Mohamed Reda, A. Z., Mpho Kgosiemang, I., Ahmed Ja'e, I., Kolawole Oyetunji, A., Ayodele Olukolajo, M., y Igwe, I. (25 de Septiembre de 2022). Guidelines on Asset Management of Offshore Facilities for Monitoring, Sustainable Maintenance, and Safety Practices. (MDPI, Ed.) *Sensors*, 22(19), 1-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s22197270>

Assunção Folque, M., Escrig-Olmedo, E., y Corzo Santamaría, M. T. (21 de Diciembre de 2022). Contribution of sustainable investment to sustainable development within the framework of the SDGS: the role of the asset management industry. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 14(5), 1075-1100.
<https://doi.org/10.1108/SAMPJ-01-2022-0044>

Barbieri, G., y Hernandez, J. D. (23 de Enero de 2024). Sustainability Indices and RAM Analysis for Maintenance Decision Making Considering Environmental Sustainability. (M. Jasiulewicz-Kaczmarek, Ed.) *Sustainability*, 16(3), 1-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16030979>

BLANKE, T. (2014). *digital-asset-ecosystems*. Reino Unido: Chandos Publishing. Retrieved 5 de Noviembre de 2024, from <https://www.sciencedirect.com/book/9781843347163/digital-asset-ecosystems>

Bouchery, Y., Corbett, C. J., Fransoo, J. C., y Tan, T. (2016). *sustainable-supply-chains*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29791-0>

Cecconi, F. R., Dejaco, M. C., Moretti, N., Mannino, A., y Blanco Cadena, J. D. (2020). Digital Asset Management. En B. Daniotti, M. Gianinetto, y S. Della Torre, *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment* (pp. 243-253). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-33570-0_22

Civelek, M. E., Çemberci, M., Artar, O. K., y Uca, N. (2015). *Key Factors of Sustainable Firm Performance: A Strategic Approach*. Nebraskas: Zea Books. Retrieved 6 de Noviembre de 2024, from <https://digitalcommons.unl.edu/zeabook/34/>

- da Cunha Pinto, T., y Bandeira, A. M. (2013). Sustainability Reporting and Financial Reporting: The Relevance of an Integrated Reporting Approach. En H. E. Muga, y K. D. Thomas, *Cases on the Diffusion and Adoption of Sustainable Development Practices* (pp. 167-194). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-2842-7.ch007>
- De Menezes, U., Dias, V., Gomes, C., Scherer, F., y Kruglianskas, I. (Febrero de 2013). Management of Sustainable Innovation in an Internationalized Company. *Journal of Technology Management & Innovation*, 8, 264-273. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242013000300024>
- Delaney, C. (2021). *Comprehensive in-supply chain life cycle assessment of the preventative cost-based externalities of products*. Universidad de Utrecht,, Facultad de Geociencias. Utrecht University. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.33540/416>
- Farinha Torres, J., Raposo, H. D., de-Almeida-e-Pais, J. E., y Mendes, M. (8 de Noviembre de 2023). Physical Asset Life Cycle Evaluation Models—A Comparative Analysis towards Sustainability. (J. Farinha Torres, y H. D. Raposo, Edits.) *Sustainability*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/su152215754>
- García-Gómez, F. J., Rosales-Prieto, V. F., Sánchez-Lite, A., Fuentes-Bargues, J. L., y González-Gaya, C. (2021). An Approach to Sustainability Risk Assessment in Industrial Assets. *Sustainability*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/su13126538>
- García-Gómez, F. J., Rosales-Prieto, V. F., Sánchez-Lite, A., Fuentes-Bargues, J. L., y González-Gaya, C. (2021). An Approach to Sustainability Risk Assessment in Industrial Assets. *Sustainability*, 13(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13126538>
- Garrido Azevedo, S., Pimentel, C. M., Alves, A. C., y Matias, J. C. (29 de Marzo de 2021). Support of Advanced Technologies in Supply Chain Processes and Sustainability

Impact. *Applied Sciences*, 11(3026), 1-26.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11073026>

Gonçalves Machado, C., Pinheiro de Lima, E., Angelis, J., Gouvea da Costa, S. E., y Adami Mattioda, R. (2015). A maturity framework for sustainable operations management. *3rd International Conference on Production Research (ICPR)*. Curitiba, Brasil: International Foundation for Production Research (IFPR). Retrieved 2 de Noviembre de 2024, from https://www.researchgate.net/publication/282052764_A_maturity_framework_for_sustainable_operations_management

Haanstra, W., Gelpke, R., Jan Braaksma, A. J., Karakoc, I., y Hartog, C. D. (2019). Integrating sustainability in asset management decision making: A case study on streamlined life cycle assessment in asset procurement. *25th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2019)*. Madrid: CIRED. Retrieved 28 de Octubre de 2024.

Heitz, C., y Goren Huber, L. (2014). On the Economics of Asset Management. En R. W. Grubbström, y H. H. Hinterhuber (Ed.), *Eighteenth International Working Seminar on Production Economics*, (pp. 1-14). Innsbruck, Austria. <https://doi.org/10.21256/zhaw-1893>

Henderson, K., Pahlenkemper, G., y Kraska, O. (2014). Integrated Asset Management – An Investment in Sustainability. *Procedia Engineering*, 83, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.077>

Hirschowitz Nel, C. B., y Jooste, W. (6 de Diciembre de 2016). A Technologically-Driven Asset Management Approach to Managing Physical Assets: A Literature Review and Research Agenda for ‘Smart’ Asset Management. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(4), 50-65. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7166/27-4-1478>

Hübner, D., Moghayedi, A., y Michell, K. (2022). The impact of industry 4.0 technologies on the environmental sustainability of commercial property by reducing the energy consumption. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/6/062018>

JACOBO-HERNANDEZ, C. A., JAIMES-VALDEZ, M. Á., y OCHOA-JIMÉNEZ, S. (2021). Benefits, Challenges, and Opportunities of Corporate Sustainability. *Management*, 25(1), 51-74. <https://doi.org/10.2478/manment-2019-0059>

Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Antosz, K., Zhang, C., y Ivanov, V. (28 de Marzo de 2023). Industry 4.0 Technologies for Sustainable Asset Life Cycle Management. *Sustainability*, 15(5833), 1-7. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.3390/>

Jasiulewicz-Kaczmarek, M., y Żywica, P. (2018). The Concept of Maintenance Sustainability Performance Assessment by Integrating Balanced Scorecard with Non-Additive Fuzzy Integral. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 20(4), 650-661. <https://doi.org/10.17531/ein.2018.4.16>

John Hastings, N. A. (2021). *Physical Asset Management* (Tercera edición ed.). Cham, Suiza: Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62836-9>

Jung, H., y Kim, B. (24 de Abril de 2021). Identifying Research Topics and Trends in Asset Management for Sustainable Use: A Topic Modeling Approach. (MDPI, Ed.) *Sustainability*, 13(9), 1-14. <https://doi.org/10.3390/su13094792>

Kabir, G., Paul, S. K., y Ali, S. M. (2022). *Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management*. Basel, Switzerland: MDPI. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-4520-2>

- Kabir, G., Sanjoy Kumar, P., y Ali, S. (2022). *Sustainable Assessment in Supply Chain and Infrastructure Management*. MDPI. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-4520-2>
- Komonen, K., y Emmanouilidis, C. (2013). Physical Asset Management Practices in Industry: Comparisons between Greece and Other EU Countries. En M. T. V. Prabhu (Ed.), *Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains. APMS 2013*. 415, pp. 509–516. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41263-9_63
- Kucht Campos, J. (2015). *Integrated Framework for Managing Sustainable Supply Chain Practices*. Berlin, Alemania: Universitätsverlag der TU Berlin,. <https://doi.org/10.14279/depositonce-4603>
- Kuik, S. S., Kaihara, T., Fujii, N., y Kokuryo, D. (2015). An Integrated Production Planning Model with Obsolescence and Lifecycle Considerations in a Reverse Supply Chain. *Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth*. 459. Tokyo, Japan: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22756-6_83
- Lake, A., Acquaye, A., Genovese, A., Kumar, N., y Koh, S. (2014). An application of hybrid life cycle assessment as a decision support framework for green supply chains. *International Journal of Production Research*, 53(21), 6495-6521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00207543.2014.951092>
- Li, P., Gu, R., y Zhang, W. (2011). Lifecycle Based Distributed Cooperative Service Supply Chain for Complex Product. En P. Li, *Supply Chain Management* (p. 602). China. <https://doi.org/10.5772/15066>

- Liu, X., y Zhao, A. (2024). Advancing sustainability in construction and environmental management about innovative materials, technologies, and policy frameworks. En Ö. B. İSTANBULLU (Ed.), *e 2nd International Conference on Functional Materials and Civil Engineering*. 666. Eskişehir, Turkey: EWA Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.54254/2755-2721/66/20240923>
- Lu, D. (2011). *fundamentals-of-supply-chain-management*. <https://typeset.io/pdf/fundamentals-of-supply-chain-management-1qp2c5aggy.pdf>
- Maletič , D., Maletič, M., Al-Najjar, B., y Gomišček, B. (13 de Diciembre de 2018). Development of a Model Linking Physical Asset Management to Sustainability Performance: An Empirical Research. *Sustainability*, 10(12), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su10124759>
- Małgorzata, J. K., Katarzyna , A., Chaofeng , Z., y Vitalii , I. (28 de Marzo de 2023). Industry 4.0 Technologies for Sustainable Asset Life Cycle Management. (MDPI, Ed.) *Sustainability*, 15(7), 1-7. <https://doi.org/10.3390/su15075833>
- Mancini, L., Sala, S., Recchioni, M., Benin, L., Goralczyk, M., y Pennington, D. (2014). Potential of life cycle assessment for supporting the management of critical raw materials. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(1), 100-116.
<https://doi.org/10.1007/s11367-014-0808-0>
- Nel, C., y Jooste, J. (6 de Diciembre de 2016). A technologically-driven asset management approach to managing physical assets: A literature review and research agenda for 'smart' asset management. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(4), 50-65.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7166/27-4-1478>

- OECD. (2023). *Sustainability Policies and Practices for Corporate Governance in Latin America*. Paris, Francia: Publicaciones OCDE (OECD Publishing).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1787/76df2285-en>.
- OECD. (2024). *Global Corporate Sustainability Report 2024*. París, Francia: OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/8416b635-en>
- Oertwig, N., Galeitzke, M., Schmieg, H. G., Kohl, H., Jochem, R., Orth, R., y Knothe, T. (2017). Integration of Sustainability into the Corporate Strategy. En R. Stark, G. Seliger, J. Bonvoisin, R. Stark, G. Seliger, y J. Bonvoisin (Edits.), *Sustainable Manufacturing, Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management* (pp. 175-200). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48514-0_12
- Ossai, C. I., Boswell, B., y Davies, I. J. (julio de 2014). Sustainable asset integrity management: Strategic imperatives for economic renewable energy generation. *Renewable Energy*, 67, 143-152. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.024>
- Passath, T., Huber, C., Biedermann, H., Kohl, L., y Ansari, F. (2021). A Knowledge-Based Digital Lifecycle-Oriented Asset Optimisation. *TECHNICAL JOURNAL*, 15(2), 226-234.
<https://doi.org/10.31803/tg-20210504111400>
- Petr , H., de la Fuente Antequera, A., Tošić, N., y Josa, I. (23 de Abril de 2023). Editorial to the Special Theme Sustainability. (Wiley, Ed.) *Structural Concrete*, 24(2), 1723-1724.
<https://doi.org/10.1002/suco.202370200>
- Plapper, P. (2022). *Digitization of the work environment for sustainable production*. Berlin, Alemania: GITO Verlag. https://doi.org/https://doi.org/10.30844/wgab_2022
- Popović, V., Vasić, B., y Curović, D. (2010). A Possible Answer to the Question: What is Asset Management? *Research and Design in Commerce & Industry*, 8(3), 205-214. Retrieved

26 de Octubre de 2024, from

<https://www.engineeringscience.rs/images/pdf/article%20187.pdf>

Quintana-García, C., Marchante-Lara, M., y Benavides-Chicon, C. G. (15 de Marzo de 2022).

Towards Sustainable Development: Environmental Innovation, Cleaner Production Performance, and Reputation. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(5), 1330 - 1340. <https://doi.org/10.1002/csr.2272>

Rajora, G. L., Sanz-Bobi, M. A., Tjernberg, L., y Urrea Cabus, J. E. (10 de Mayo de 2024). A

review of asset management using artificial intelligence-based machine learning models: Applications for the electric power and energy system. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 18(12), 2155–2170. <https://doi.org/10.1049/gtd2.13183>

Rusch, M., Schöggel, J. P., y Baumgartner, R. J. (16 de Septiembre de 2021). 9. Application of

digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Business Strategy and the Environment*, 1-16.

<https://doi.org/10.1002/bse.3099>

Sayegh, F. (30 de Abril de 2023). Engineers' climate change awareness and sustainable asset management practices. *SN Business & Economics*, 3(98), 1-25.

<https://doi.org/10.1007/s43546-023-00474-9>

Schulte, J., Carolina, V., y Sophie, H. (16 de Diciembre de 2020). Strategic Sustainability Risk Management in Product Development Companies: Key Aspects and Conceptual

Approach. (MDPI, Ed.) *Sustainability*, 12(24), 1-20.

<https://doi.org/10.3390/su122410531>

Serrano, W. (4 de Enero de 2023). Smart or Intelligent Assets or Infrastructure Technology with a Purpose. *Buildings*, 13(131), 1-22.

<https://doi.org/10.3390/buildings13010131>

Seymur , S. S., Zinaida , M. N., y Leonidova, Y. (25 de Mayo de 2023). Management Concepts for the Sustainable Development of Mineral Resources. *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*, 65(2), 74-84.

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-2-74-84>

Shageeva, G. R. (2023). Reducing the Negative Impact of Technogenic Factors in the Implementation of Logistics Operations in the Light of the Concept of Sustainable Development. *E3S Web of Conferences E3S Web of Conferences*. 389. Kazán, Rep. Tartaristán: EDP Sciences.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338905022>

Sonnemann, G., y Margni, M. (2015). *Life Cycle Management* (Primera ed.). Dordrecht, Países Bajos: Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-017-7221-1>

Terezinha Vieira, M., G. Cremonezi, G. O., Rueda Spers, V. E., Medeiros, A. L., y Morales Rigolid, A. G. (2021). Sustainability in the Economic, Environmental, and Social Dimensions and the Relationship With Social Responsibility Indicators. *Academy of Entrepreneurship Journal*, 27(4), 1-14. Retrieved 1 de Noviembre de 2024, from <https://www.abacademies.org/journals/academy-of-entrepreneurship-journal-home.html>

Tighe, S. L., McLeod, N. W., y Juhasz, M. (Abril de 2012). Desarrollo de la nueva guía canadiense de diseño y gestión de infraestructura vial 2011: un resumen del estado de la práctica canadiense. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(1), 93-111. Retrieved 29 de Septiembre de 2024, from www.ricuc.cl

Vieira, M. T., G. Cremonezi, G. O., Rueda Spers, V. E., Medeiros, A. L., y Morales Rigolid, A. G. (2021). Sustainability in the Economic Environmental and Social Dimensions and the Relationship With Social Responsibility Indicators. *Academy of Entrepreneurship*

- Journal*, 27(4), 1-14. Retrieved 31 de Octubre de 2024, from <https://www.abacademies.org/journals/academy-of-entrepreneurship-journal-home.html>
- Wadhwa, S. (2018). Sustainable Management Practices: An Analytical Study of Balancing Profit and Purpose. *Psychology and Education*, 55(1), 581-589. <https://doi.org/10.48047/pne.2018.55.1.71>
- Wagner, N., y Wiśnicki, B. (30 de Septiembre de 2022). The Importance of Emerging Technologies to the Increasing of Corporate Sustainability in Shipping Companies. *Sustainability*, 14(12475), 1-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su141912475>
- Wahyudhi, W. S., Sanny, L., Simatupang, B., y Furinto, A. (2 de Julio de 2024). The role of asset management on project performance moderated by environmental dynamism on Indonesia's mining project. *Uncertain Supply Chain Management*, 12, 2123–2136. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2024.7.003>
- Weerasekara, S., Lu, Z., Ozek, B., Isaacs, J. A., y Kamarthi, S. (27 de Septiembre de 2022). Trends in Adopting Industry 4.0 for Asset Life Cycle. (K. Antosz, M. Jasiulewicz-Kaczmarek, y C. Zhang, Edits.) *Sustainability*, 14(19), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su141912233>
- Weerasekara, S., Lu, Z., Ozek, B., Isaacs, J. A., y Kamarthi, S. (27 de Septiembre de 2022). Trends in Adopting Industry 4.0 for Asset Life Cycle Management for Sustainability: A Keyword Co-Occurrence Network Review and Analysis. (MDPI, Ed.) *Sustainability*, 14(19), 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su141912233>
- Yun, N. Y., y Ülkü, M. A. (2 de Septiembre de 2023). Sustainable Supply Chain Risk Management in a Climate-Changed World: Review of Extant Literature, Trend Analysis, and Guiding Framework for Future Research. (MDPI, Ed.) *Sustainability*, 15(17), 1-32. <https://doi.org/10.3390/su151713199>

Zatar, W. A. (2021). Environmentally Influenced Risk and Sustainable Management of State-Controlled Transportation Assets. En W. A. Zatar, M. Sarfraz, y L. Ivascu (Edits.), *Risk Management* (pp. 1-18). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98232>

Zhang, Y., Chouinard, L., Power, G. J., Conciatori, D., Sasai, K., y Bah, A. S. (14 de Febrero de 2023). Multi-objective optimization for the sustainability of infrastructure projects under the influence of climate change. (o. c. Informa UK Limited, Ed.) *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(5), 492-513. <https://doi.org/10.1080/23789689.2023.2171197>