

Indicadores de ecoeficiencia y estrategias de sostenibilidad en la industria manufacturera colombiana: un estudio exploratorio con enfoque en contabilidad ambiental

Nydia Marcela Reyes Maldonado¹, Julián Andrés Durán Peña² & Diego Andrés Angarita Vargas³

PALABRAS CLAVE

contabilidad ambiental, ecoeficiencia, estándares de sostenibilidad ISSB, estrategia, industria manufacturera

CÓDIGOS JEL

Q56, M41, L60

RECIBIDO

24/03/2024

APROBADO

20/08/2024

PUBLICADO

01/10/2024

SECCIÓN

Finanzas

Resumen: El presente estudio examina las estrategias de sostenibilidad de la industria manufacturera colombiana, enfocándose en indicadores de ecoeficiencia y su vínculo con la contabilidad ambiental. Mediante una investigación no paramétrica, se estudiaron siete indicadores de ecoeficiencia en nueve sectores industriales, basándose en datos de la Encuesta Ambiental Industrial (EAI) y la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del DANE (2020). Se compararon los indicadores entre empresas con y sin planes de gestión y seguimiento ambiental en recursos como agua, energía y residuos. Los hallazgos revelan diferencias significativas en los indicadores según el sector y los grupos de empresas. De los nueve sectores evaluados y los siete indicadores de ecoeficiencia examinados, cuatro sectores se mostraron significativos en los indicadores de ecoeficiencia asociados al agua; siete en los correspondientes a energía, y dos en los relativos a residuos. Al contrastar estos datos con los estándares de sostenibilidad del ISSB, se evidencia que la información ambiental reportada varía según el sector, y aún existen brechas importantes de información por revelar. En conclusión, la combinación de estrategias, indicadores de ecoeficiencia y contabilidad ambiental puede mejorar la comparabilidad de la información de sostenibilidad, orientando a los decisores a llevar sus recursos a empresas con verdadero enfoque ambiental.

Esta obra se publica bajo una licencia Creative Commons Atribución-No_Comercial-Sin_Derivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Citación sugerida: Reyes, N., Durán, J., & Angarita, D. (2024). Indicadores de ecoeficiencia y estrategias de sostenibilidad en la industria manufacturera colombiana: un estudio exploratorio con enfoque en contabilidad ambiental. *Innovar*, 34(94). e116814. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n94.116814>

ECO-EFFICIENCY INDICATORS AND SUSTAINABILITY STRATEGIES IN THE COLOMBIAN MANUFACTURING INDUSTRY: AN EXPLORATORY STUDY WITH A FOCUS ON ENVIRONMENTAL ACCOUNTING

Abstract: This study examines the sustainability strategies of the Colombian manufacturing industry, focusing on eco-efficiency indicators and their connection to environmental accounting. Through a non-parametric investigation, seven eco-efficiency indicators were analyzed across nine industrial sectors, utilizing data from the Industrial Environmental Survey (EAI) and the Annual Manufacturing Survey (EAM) conducted by DANE (2020). The indicators were compared between companies with and without environmental management and monitoring plans concerning resources such as water, energy, and waste. The findings reveal significant

¹ Ph. D. en Contabilidad y Finanzas de las Organizaciones. Universidad Autónoma de Bucaramanga, docente titular del programa de Contaduría Pública. Bucaramanga, Colombia. Grupo de investigación: Grupo Estratégico en Investigación Organizacional (GENIO). Rol del autor: intelectual. nreyes@unab.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-4401-0932>.

² Ph. D. en Ingeniería y Producción Industrial. Universidad Autónoma de Bucaramanga, director del programa de Ingeniería Industrial. Bucaramanga, Colombia. Grupo de investigación Grupo de Investigación en Finanzas y Optimización (GIFO). Rol del autor: intelectual. jduran783@unab.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-3516-1595>.

³ Pregrado en Contaduría Pública. Universidad Autónoma de Bucaramanga, integrante - Semillero de Investigación Contaudi. Bucaramanga, Colombia. Rol del autor: intelectual. dangarita646@unab.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-2008-7460>.

differences in the indicators based on sector and company groups. Of the nine sectors evaluated and the seven eco-efficiency indicators examined, four sectors demonstrated significance in the water-related eco-efficiency indicators; seven in those related to energy; and two in those associated with waste. When contrasting these data with the ISSB sustainability standards, it is evident that the reported environmental information varies by sector, and significant information gaps remain to be disclosed. In conclusion, the integration of strategies, eco-efficiency indicators, and environmental accounting can enhance the comparability of sustainability information, guiding decision-makers to allocate their resources toward companies with a genuine environmental focus.

Keywords: Environmental accounting, eco-efficiency, ISSB sustainability standards, strategy, manufacturing industry.

INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA E ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA COLOMBIANA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM FOCO EM CONTABILIDADE AMBIENTAL

Resumo: O presente estudo examina as estratégias de sustentabilidade da indústria manufatureira colombiana, com foco em indicadores de ecoeficiência e seu vínculo com a contabilidade ambiental. Mediante uma pesquisa não paramétrica, foram estudados sete indicadores de ecoeficiência em nove setores industriais, com base em dados da Pesquisa Ambiental Industrial e a Pesquisa Industrial Anual do Departamento Administrativo Nacional de Estatística (DANE) em 2020. Compararam-se os indicadores entre as empresas com e sem planos de gestão e acompanhamento ambiental em recursos como água, energia e resíduos. Os achados revelam diferenças significativas nos indicadores de acordo com o setor e os grupos de empresas. Dos nove setores avaliados e dos sete indicadores de ecoeficiência examinados, quatro setores se mostraram significativos nos indicadores de ecoeficiência associados à água; sete nos indicadores que correspondem à energia, e dois naqueles relativos à resíduos. Ao contrastar esses dados com os padrões de sustentabilidade ISSB, evidencia-se que a informação ambiental relatada varia segundo o setor e ainda existem brechas importantes de informação a ser revelada. Em conclusão, a combinação de estratégias, indicadores de ecoeficiência e contabilidade ambiental pode melhorar a comparabilidade da informação de sustentabilidade, orientando os tomadores de decisões a destinarem recursos para empresas com um verdadeiro foco ambiental.

Palavras-chave: contabilidade ambiental, ecoeficiência, padrões de sustentabilidade ISSB, estratégia, indústria manufatureira.

INTRODUCCIÓN

En 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un conjunto de 17 metas globales diseñadas para abordar los desafíos más urgentes de la sociedad, incluido el cambio climático, a través de la industrialización sostenible y prácticas de producción e innovación responsables (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). Comprometidos con estos objetivos, los 193 Estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), incluida Colombia, han adoptado la Agenda 2030, integrando los ODS en sus políticas nacionales de desarrollo y estableciendo sistemas de seguimiento para evaluar el progreso. En respuesta a esta agenda global, el Gobierno colombiano lanzó la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC) en noviembre de 2018, promoviendo un modelo económico que busca preservar el bienestar de las generaciones futuras minimizando el desperdicio y maximizando el uso sostenible de los recursos, alineado con los ODS y potencialmente generando ahorros significativos (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).



En contraste, Colombia enfrenta desafíos significativos en términos de impacto ambiental. El *country overshoot day* o “día de sobregiro del país” indica que, si el consumo global imitara al colombiano, los recursos renovables se agotarían para el 8 de noviembre de 2023 (Footprint Data Foundation, 2022). Además, en 2016 el país se posicionó 47.º en emisiones de CO₂, con 77.667.594 toneladas emitidas (Worldometers, 2016); en cuanto a residuos sólidos, Colombia genera anualmente 12 millones de toneladas, reciclando solo el 17% (Rodríguez, 2022). Esta situación destaca la necesidad de que las empresas adopten estrategias sostenibles con urgencia. Es vital la implementación de tecnologías y procesos industriales que minimicen el daño ambiental, así como la mejora en la eficiencia del uso de recursos naturales mediante prácticas de producción más responsables.

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020) ha elaborado su primer informe dedicado a la economía circular, en el que propone una serie de indicadores de ecoeficiencia que abarcan desde la extracción de activos ambientales hasta la optimización y conclusión de los ciclos de vida de materiales y productos. Estos indicadores, centrados en la producción, el consumo y la gestión de bienes y servicios, reflejan una amplia gama de actividades empresariales. Al analizar estos indicadores, se evidencia que la información requerida para su cálculo podría derivarse directamente de los datos de sostenibilidad que las empresas deben reportar según las normas establecidas por el International Sustainability Standards Board (ISSB), adscrito a los International Financial Reporting Standards (IFRS). Los estándares IFRS S1 y IFRS S2, que se centran en los requisitos generales para la divulgación de información financiera relacionada con la sostenibilidad y las divulgaciones relacionadas con el clima, respectivamente (ISSB, 2023a; 2023b), ofrecen

un marco que podría ser empleado como base para el cálculo de los indicadores de ecoeficiencia propuestos por el DANE, lo que sugiere una sinergia potencial entre las iniciativas de reporte nacional e internacional.

La ecoeficiencia y la contabilidad ambiental tienen una fuerte conexión que no se puede seguir desconociendo, ya que la una depende de la otra. En efecto, la contabilidad ambiental actúa como un instrumento para cuantificar la ecoeficiencia en valores económicos consolidados, reconociendo gastos relacionados con el medio ambiente (ya sean inmediatos, eventuales o abstractos) que anteriormente eran omitidos o se asignaban de manera incorrecta. Esto sugiere que, más allá de simplemente adoptar una estrategia de ecoeficiencia o establecer un conjunto de métricas, es esencial disponer de un sistema contable para organizar la información que respalde dichas métricas (Leal, 2005). En esencia, la contabilidad ambiental no solo refuerza la responsabilidad corporativa y el compromiso con el cuidado del planeta, sino que también orienta a las organizaciones hacia una toma de decisiones más informada y sostenible (Chamorro González & Peña-Vinces, 2023).

La proliferación de estándares, indicadores y organismos emisores relacionados con la sostenibilidad ha dificultado la toma de decisiones de las empresas sobre qué marco de información utilizar para reportar su actuación ambiental. Como resultado, son pocas las empresas en Colombia que realizan informes de sostenibilidad ambiental o presentan algún tipo de información ambiental de conocimiento público (Chamorro González & Peña-Vinces, 2023). En este orden de ideas, el DANE ha implementado dos encuestas esenciales para el sector industrial: la Encuesta Anual Manufacturera (EAM; DANE, 2021) y la Encuesta Ambiental Industrial (EAI; DANE, 2022); mientras que la EAM se centra en recopilar información fundamental sobre la estructura y evolución del sector fabril, contribuyendo a las cuentas nacionales, la EAI tiene como finalidad cuantificar el esfuerzo económico y la gestión ambiental del sector manufacturero, abordando desafíos de sostenibilidad, competitividad y responsabilidad social. Estas encuestas, en particular la EAI, se alinean con los principios de la contabilidad ambiental, buscando reflejar el impacto ambiental de las operaciones industriales y, por ende, representan un esfuerzo inicial para evidenciar la ecoeficiencia en el ámbito empresarial.

El propósito de esta investigación es profundizar en el análisis de la información sobre ecoeficiencia proporcionada por las empresas manufactureras colombianas, centrando la atención en los datos recopilados por las EAM y la EAI del 2020. Específicamente, la EAI indaga si las empresas tienen programas para el uso eficiente y ahorro del agua, seguimiento y monitoreo ambiental, y medición de residuos generados, elementos que son fundamentales para el desarrollo de estrategias sostenibles concretas. Este enfoque permite contrastar las respuestas dadas por las empresas con indicadores de ecoeficiencia derivados de la información reportada, alineándose con los estándares de sostenibilidad del ISSB. El estudio tiene como fin no solo revelar el estado actual de la información ambiental reportada por las industrias y los posibles desfases con respecto a los estándares emergentes de sostenibilidad, sino también proponer un conjunto de indicadores de ecoeficiencia que reflejen las estrategias de ecoeficiencia actuales y se ajusten a los criterios de divulgación del ISSB dentro de un marco de contabilidad ambiental.

Establecer si una empresa cuenta con programas para el uso eficiente y ahorro del agua, seguimiento y monitoreo ambiental, o medición de residuos generados es fundamental, pues esta información refleja las estrategias de sostenibilidad en la industria manufacturera colombiana. No obstante, surge la interrogante de cómo medir efectivamente la implementación de estas estrategias y diferenciar a las empresas que

favorecen operaciones sostenibles de aquellas que no tienen esta intención. Las normas IFRS de sostenibilidad subrayan la importancia de identificar estrategias sólidas, ya que, sin ellas, la sostenibilidad no constituye un enfoque genuino de gestión. Conectar estas estrategias con indicadores específicos de ecoeficiencia y alinearlos con estándares internacionales de sostenibilidad permite no solo verificar la aplicación real de estas prácticas, sino también tomar decisiones informadas sobre posibles ajustes en las estrategias o inversiones en tecnologías más limpias y sostenibles, con el fin de evitar riesgos financieros (ISSB, 2023a).

El artículo tiene la siguiente estructura: tras esta introducción, a continuación se presenta el marco teórico y la revisión de la literatura relacionados con la ecoeficiencia en las empresas del sector manufacturero en Colombia, su uso como estrategia para la competitividad y sostenibilidad, y el papel que desempeña la contabilidad ambiental como herramienta para medir la ecoeficiencia y divulgar las acciones ecológicas de las empresas; después, se expone el enfoque metodológico, incluyendo las fuentes de datos y variables, la selección de los datos de las encuestas EAI y EAM del 2020, y las estadísticas descriptivas e inferenciales aplicadas; luego, se muestran los hallazgos y, finalmente, se recogen las principales conclusiones.

MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

La ecoeficiencia es un enfoque empresarial que busca optimizar la utilización de recursos naturales y reducir los efectos ambientales en la producción de bienes y servicios. Su importancia radica en alcanzar la sostenibilidad a largo plazo y mejorar la competitividad de las empresas (Ardiana et al., 2023; Bremberger et al., 2015). Adoptar prácticas ecoeficientes conlleva ventajas como la reducción de costos operativos, el cumplimiento de normativas ambientales, el fortalecimiento de la responsabilidad social corporativa y la preservación de los ecosistemas (Lijun & Guoshuang, 2021; Rodríguez-García et al., 2022). Además, la ecoeficiencia impulsa los beneficios económicos, atrae a consumidores conscientes y contribuye a la conservación de la biodiversidad (Verfaillie & Bidweel, 2000). En general, la ecoeficiencia es clave para un futuro más sostenible y responsable tanto para las empresas como para la sociedad en su conjunto.

La ecoeficiencia emerge como una estrategia esencial para mejorar la competitividad y sostenibilidad, tanto financiera como ambiental, de las empresas. Al centrarse en optimizar recursos y reducir impactos ambientales, las organizaciones logran una mayor eficiencia operativa y una reducción de costos a largo plazo (Ardiana et al., 2023; Arjaliès & Mundy, 2013). La adopción de prácticas ecoeficientes no solo aumenta la rentabilidad al minimizar gastos y desperdicios, sino que también brinda una ventaja competitiva, ya que los consumidores favorecen productos y servicios respetuosos con el medio ambiente (Gao et al., 2022; Sarfraz et al., 2023). Además, la ecoeficiencia contribuye a la preservación de recursos naturales y la mitigación del cambio climático, desempeñando un papel clave en la sostenibilidad ambiental para un futuro seguro y responsable (Tiwari & Khan, 2020). Integrar la ecoeficiencia en la estrategia empresarial no solo impulsa la competitividad, sino que también contribuye a construir un mundo más sostenible y equilibrado desde el punto de vista financiero y ambiental (Moraga et al., 2019).

En la industria manufacturera colombiana, se han implementado estrategias de ecoeficiencia como la incorporación de tecnologías de ahorro energético y la gestión eficiente de residuos sólidos. En 120 empresas colombianas se utilizaron sistemas de ahorro de agua, paneles solares y programas de manejo integral de

residuos, lo que permitió la mejora de la eficiencia operativa y la reducción de costos y emisiones. En la industria de metales, se aplicaron estrategias de manufactura esbelta, que incluyeron la eliminación de desechos, el ahorro de energía, espacio y materiales, así como la optimización del uso del talento humano mediante la adición de la seguridad como la sexta “S” en Kaizen. Estas medidas promueven la sostenibilidad ambiental, aunque presentan desafíos iniciales en términos de costos y requieren de inversión en infraestructura y capacitación (Goshime et al., 2019; Pardo Martínez & Cotte Poveda, 2022; Valencia-Rodríguez et al., 2018).

Para justificar estas inversiones y demostrar su impacto, es imperativo que las empresas desarrollen y mantengan sistemas robustos de contabilidad ambiental, que permiten identificar, reconocer, medir y revelar información relacionada con la ecoeficiencia de manera transparente y cuantificable (Ardiana et al., 2023; Dhar et al., 2022). A través de indicadores de ecoeficiencia bien definidos, las empresas pueden monitorear el rendimiento de sus estrategias de sostenibilidad, ofreciendo una visión clara del retorno de la inversión ambiental. Esta información detallada no solo facilita la toma de decisiones estratégicas internas, sino que también mejora la comunicación con los *stakeholders*, demostrando el compromiso de la empresa con la sostenibilidad y su impacto positivo en la reducción del impacto ambiental y la promoción de la sostenibilidad económica en el sector.

La contabilidad ambiental o contabilidad verde se presenta como una herramienta poderosa para evaluar la ecoeficiencia de una empresa o actividad. La integración de aspectos ambientales en los informes financieros permite cuantificar y analizar el impacto ambiental de las operaciones; además, a través de indicadores específicos, proporciona una visión completa de la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de emisiones (Chamorro González & Peña-Vinces, 2023; Lijun & Guoshuang, 2021). Esto no solo identifica áreas de mejora, sino que también facilita la toma de decisiones informadas para una ecoeficiencia más sólida y efectiva. En última instancia, la contabilidad ambiental guía hacia prácticas más sostenibles y responsables, contribuyendo a un futuro equilibrado y consciente del medio ambiente (Sarfraz et al., 2023).

La revisión de estudios previos sobre ecoeficiencia en el sector manufacturero ha sido esencial para entender cómo las empresas pueden lograr un equilibrio óptimo entre eficiencia productiva y sostenibilidad ambiental. Estos estudios han analizado diversas estrategias y prácticas adoptadas por la industria para reducir el consumo de recursos, minimizar residuos y disminuir emisiones a lo largo de la cadena de valor (Aranda-Usón et al., 2019; Arjaliès & Mundy, 2013). Los resultados resaltan la importancia de invertir en tecnologías limpias, procesos eficientes, diseños ecoamigables de productos y la integración de toda la cadena de suministro en la ecoeficiencia (Arowoshegbe et al., 2016; Dhar et al., 2022). Además, se ha comprobado que la ecoeficiencia no solo beneficia al medio ambiente, sino que también mejora la competitividad, reduce costos operativos y fortalece la imagen corporativa, aspectos que también son fundamentales para guiar a las empresas hacia una producción más sostenible y responsable, lo que permite impulsar un cambio positivo hacia un sector manufacturero más ecoeficiente (Korhonen et al., 2018; Lewandowski, 2016; Neri et al., 2021; Roque et al., 2020; Scarpellini et al., 2020).

La relevancia de la información integrada y comparable sobre el desempeño ambiental y la ecoeficiencia radica en su capacidad para ofrecer una visión amplia y objetiva de las prácticas sostenibles y sus resultados (Di Vaio et al., 2023; Durand et al., 2019). La disponibilidad de datos consistentes y comparables, tanto internamente en una organización como entre distintas empresas e industrias, facilita la identificación de

mejores prácticas y áreas de mejora (Pauliuk, 2018; Tsalis et al., 2020). Estos datos permiten a las empresas evaluar su propio desempeño ambiental en relación con metas y estándares establecidos, lo que fomenta la toma de decisiones informadas para optimizar el uso de recursos y minimizar impactos negativos (Helander et al., 2019; Scarpellini et al., 2020; Verfaillie & Bidweel, 2000). Además, contar con información comparable también empodera a inversores, consumidores y otras partes interesadas para tomar decisiones más responsables al respaldar a empresas que demuestran un compromiso genuino con la sostenibilidad (United Nations Conference on Trade and Development., 2008).

Asimismo, la información integrada y comparable sobre el desempeño ambiental y la ecoeficiencia juegan un papel esencial en la formulación de políticas públicas y regulaciones efectivas. Los gobiernos y organismos reguladores pueden aprovechar estos datos para supervisar el cumplimiento ambiental de las empresas y diseñar políticas más precisas y eficaces, que promuevan prácticas ecoeficientes en diversos sectores (Bebbington & Larrinaga, 2014; Helander et al., 2019; Ibrahim et al., 2023). Además, esta información facilita la identificación de áreas o industrias que requieren mayor atención o incentivos para mejorar su desempeño ambiental. En última instancia, el acceso a datos integrados y comparables fomenta una cultura de transparencia y responsabilidad en relación con la sostenibilidad ambiental, lo que contribuye significativamente a la transición hacia una economía más sostenible y a una sociedad más consciente de su impacto en el medio ambiente (Neri et al., 2021; Nikolaou et al., 2019; Pardo Martínez & Cotte Poveda, 2011; Rincón-Moreno et al., 2021; Scarpellini et al., 2020).

Análisis de los nuevos estándares de sostenibilidad IFRS S1 y S2

El International Sustainability Standards Board (ISSB) ha promulgado el estándar de sostenibilidad IFRS S1 (ISSB, 2023a), centrado en la divulgación de información financiera pertinente a la sostenibilidad. Este estándar exige que las entidades proporcionen información detallada sobre su respuesta actual y futura a los riesgos y oportunidades de sostenibilidad. Aunque no prescribe un enfoque específico para la planificación estratégica en relación con los riesgos ambientales, ofrece a las entidades la flexibilidad de emplear los métodos y herramientas que consideren más apropiados para su evaluación y gestión. La IFRS S1 establece diez principios fundamentales para la divulgación de información financiera relacionada con la sostenibilidad. Estos principios enfatizan que las revelaciones deben ser justas y relevantes, así como proporcionar una representación precisa y completa de los riesgos y oportunidades de sostenibilidad de la entidad. Además, las revelaciones deben incluir información sobre gobernanza, estrategia, gestión de riesgos, métricas y objetivos relacionados con la sostenibilidad.

En paralelo, el estándar de sostenibilidad IFRS S2 (ISSB, 2023b) requiere que las entidades divulguen métricas específicas por sectores que estén asociadas con sus modelos de negocio, actividades o características comunes que definen su participación en una industria. Para determinar las métricas apropiadas para su divulgación, las entidades deben considerar la relevancia de las métricas asociadas con dichos temas descritos en la *Industry-based Guidance on implementing Climate-related Disclosures* de la IFRS S2 (ISSB, 2023c). La tabla 1 resume las métricas que son generales a todas las industrias y que responden a estas nuevas directrices de divulgación.

Tabla 1.

Información ambiental general para la industria manufacturera.

Tema	Métrica	Categoría	Unidad de medida	Significado de la métrica
Agua	Total de agua retirada, total de agua consumida; porcentaje de cada uno en regiones con estrés hídrico de línea de base alta o extremadamente alta.	Cuantitativa	Miles de metros cúbicos (m ³), Porcentaje (%)	Mide la cantidad total de agua que la empresa retira y consume, y cuánto de eso ocurre en regiones con alto estrés hídrico.
Residuos	Cantidad de residuos generados, porcentaje peligrosos y porcentaje reciclados.	Cuantitativa	Toneladas métricas (t), Porcentaje (%)	Mide la cantidad total de residuos que la empresa genera, y cuánto de esos residuos son peligrosos y cuántos se reciclan.
Energía	Energía total consumida, porcentaje de electricidad de la red y porcentaje renovable.	Cuantitativa	Giga Joules (GJ), Porcentaje (%)	Mide la cantidad total de energía consumida por la empresa, cuánto de esa energía proviene de la red eléctrica y cuánto proviene de fuentes renovables.
Gases de efecto invernadero	Emisiones brutas globales de Alcance 1, porcentaje cubierto por regulaciones limitantes de emisiones y regulaciones de informes de emisiones.	Cuantitativa	Toneladas métricas de CO ₂ equivalente (t CO ₂ e), Porcentaje (%)	Mide las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la empresa, y cuánto de esas emisiones están cubiertas por regulaciones que limitan las emisiones y que requieren la presentación de informes de emisiones.

Fuente: elaboración propia con base en ISSB (2023c).

En un mundo cada vez más enfocado en la sostenibilidad, la contabilidad ambiental es vital para evaluar el desempeño ecológico de las empresas. Los nuevos estándares de sostenibilidad del ISSB, particularmente el IFRS S1 y el IFRS S2, establecen un marco para la divulgación de información relacionada con la sostenibilidad y las estrategias ambientales (ISSB, 2023a). En este punto, es importante mencionar que la información solicitada por estos nuevos estándares y los indicadores de ecoeficiencia guardan una estrecha relación, ya que lo primero se convierte en insumo de lo segundo. Es decir, las revelaciones de sostenibilidad ambiental del ISSB proporcionan el conjunto de datos necesarios para calcular los indicadores de ecoeficiencia, que a su vez permiten evaluar el impacto real y medible de las prácticas de gestión de recursos ambientales en las organizaciones. En resumen, esta investigación busca hacer visible la conexión intrínseca entre estrategias de sostenibilidad, las revelaciones del ISSB y los indicadores de ecoeficiencia, lo cual se abordará a continuación.

METODOLOGÍA

La Encuesta Anual Manufacturera (EAM) y la Encuesta Ambiental Industrial (EAI), realizadas en 2020 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia, proporcionan una rica fuente de datos para investigaciones en contabilidad ambiental y ecoeficiencia. La EAM es una encuesta a gran escala dirigida a empresas en el sector manufacturero, recopilando datos sobre las características económicas y operativas de estas organizaciones, incluyendo ventas, producción, empleo y gastos de inversión. La EAM tiende a enfocarse en entidades de mayor escala y las empresas encuestadas pertenecen a una variedad de subsectores, incluyendo —pero no limitándose a— la producción de alimentos, fabricación de productos químicos, textiles, metalmecánica, y fabricación de maquinaria y equipo, los cuales pueden apreciarse en la

tabla 2. Allí se asocian los sectores que cuentan con una guía específica de información ambiental por sector de las nuevas normas de sostenibilidad IFRS S1 y S2 del ISSB (ISSB, 2023c).

Por otro lado, la EAI 2020, también llevada a cabo por el DANE, proporciona datos valiosos que abarcan diversas dimensiones del desempeño ambiental de las empresas industriales. Las áreas clave de enfoque de esta encuesta incluyen la eficiencia en el uso del agua, el consumo de energía, el manejo de residuos, la inversión en protección ambiental y los costos asociados a la gestión ambiental. El análisis del uso eficiente del agua y la energía permitiría evaluar cómo las empresas están optimizando el uso de estos recursos críticos. Los datos relacionados con el manejo de residuos pueden proporcionar una visión del grado en que las empresas están minimizando su impacto en el medio ambiente a través de la reducción, reutilización y reciclaje. Además, los datos sobre inversión en protección y los costos ambientales reflejan el compromiso financiero de las empresas para mitigar su impacto ambiental.

Proceso de recopilación de datos

Como se ha expuesto, el proceso de recolección de datos implicó la utilización de los conjuntos de datos del DANE de Colombia, específicamente la EAM y la EAI. Fusionamos un archivo de datos de la EAM con cinco archivos de la EAI, dando lugar a un conjunto de datos integrado compuesto por 700 variables. La operación de fusión se llevó a cabo utilizando la variable 'nordest' (número de establecimiento) de la EAM y la variable 'Código único de identificación de las fuentes anonimizado' (CODIGO_REGISTRO) de las cinco bases de la EAI (ANONIMIZADO_CAP2_20, ANONIMIZADO_CAP2A_20, ANONIMIZADO_CAP3_20, ANONIMIZADO_CAP4_20, ANONIMIZADO_CAP5_20). La fusión resultó en un conjunto final de datos de 2.917 empresas que reportaron en ambas encuestas simultáneamente.

Identificación de los indicadores de ecoeficiencia

Para la identificación de los indicadores de ecoeficiencia, recurrimos a la literatura existente, asegurándonos de que los indicadores seleccionados fueran aplicables tanto al contexto colombiano como al sector manufacturero. Consultamos principalmente dos fuentes: la de Leal (2005) y los indicadores propuestos por el DANE (2020) para medir la ecoeficiencia en Colombia. Cada indicador fue seleccionado por su relevancia y la capacidad de extraer información pertinente de las encuestas EAM y EAI. Los indicadores seleccionados se detallan en las tablas 3, 4 y 5.

Tabla 2.

Sectores DANE vs. sectores normas ISSB 2023.

Sector en EAI	Sectores DANE 2020 vs. ISSB 2023	Subsectores DANE 2020	Subsectores ISSB 2023
Sector 1	Alimentos, bebidas y tabaco vs. <i>Food and Beverage sector</i>	10.Elaboración de productos alimenticios	Volume 20—Agricultural Products Volume 22—Food Retailers & Distributors Volume 23—Meat, Poultry & Dairy Volume 25—Processed Foods Volume 26—Restaurants
		11. Elaboración de bebidas	Volume 21—Alcoholic Beverages Volume 24—Non-Alcoholic Beverages
Sector 2	Coquización, fabricación de productos de la refinación de petróleo y combustible nuclear vs. <i>Extractives & Minerals processing sector</i>	19. Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles.	Volume 11—Oil & Gas - Exploration & Production Volume 12—Oil & Gas - Midstream Volume 13—Oil & Gas - Refining & Marketing Volume 14—Oil & Gas - Services
Sector 3	Fabricación de productos de caucho y de plástico vs. <i>Resource transformation sector/Extractives & Minerals processing sector</i>	22. Fabricación de productos de caucho y plástico	Volume 48—Containers & Packaging Volume 8—Construction Materials (plastic)
Sector 4	Fabricación de sustancias y productos químicos vs. <i>Consumer goods sector /Resource transformation sector</i>	20. Fabricación de sustancias y productos químicos; 21. Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico.	Volume 5—Household & Personal Products Volume 47—Chemicals
Sector 5	Industria de madera y el corcho, fabricación de papel y actividades de edición e impresión vs. <i>Renewable Resources and Alternative Energy Sector</i>	16.Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho, excepto muebles; fabricación de artículos de cestería y espartería. 17. Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón.	Volume 41—Forestry Management Volume 43—Pulp & Paper Products
Sector 6	Industrias de otros productos minerales no metálicos	23. Industrias de otros productos minerales no metálicos	Volume 7—Coal Operations

(Continúa)

Sector en EAI	Sectores DANE 2020 vs. ISSB 2023	Subsectores DANE 2020	Subsectores ISSB 2023
Sector 7	Metalurgia y fabricación de productos metálicos vs. <i>Extractives & Minerals processing sector</i>	24. Fabricación de productos metalúrgicos básicos. 25. Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	Volume 9—Iron & Steel Producers Volume 10—Metals & Mining
Sector 8	Textiles, confección, calzado y pieles vs. <i>Consumer goods sector</i>	13. Fabricación de productos textiles	Volume 1—Apparel, Accessories & Footwear Volume 6—Multiline and Specialty Retailers & Distributors
Sector 9	Otras divisiones industriales	26. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	Volume 54—Electronic Manufacturing Services & Original Design manufacturing Volume 55—Hardware Volume 57—Semiconductors
		27. Fabricación de aparatos y equipo eléctrico	Volume 2—Appliance Manufacturing
		28. Fabricación de maquinaria y equipo N.C.P.	Volume 49—Electrical & Electronic Equipment Volume 50—Industrial Machinery & Goods
		29. Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques	Volume 62—Auto Parts Volume 63—Automobiles
		30. Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	Volume 50—Industrial Machinery & Goods
		31. Fabricación de muebles, colchones y somieres	Volume 3—Building Products & Furnishings
		32. Otras industrias manufactureras	Volume 31—Medical Equipment & Supplies Volume 33—Engineering & Construction Services. Volume 35—Home Builders
		33. Instalación, mantenimiento y reparación especializada de maquinaria y equipo	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.

Indicadores relacionados con el cuidado del agua.

Agua					
Nombre del indicador	Encuesta	Variable	Nombre	Indicador	Fuente
prodhid_ind: Productividad hídrica en la industria manufacturera	EAM	VALAGRI	Valor Agregado VA	Economía Circular Productividad Hídrica (PI) = $\sum \frac{VA}{AU}$ Donde: VA= Valor agregado de los establecimientos Industriales Manufactureros, en miles de pesos AU= Agua utilizada por los establecimientos industriales Manufactureros, en m ³ .	Indicadores de ecoeficiencia Cecodes (1996, citado por Leal 2005, p. 60)
	EAI-ANONIMIZADO_CAP4_20	C3RH2VTC	Volumen total de agua utilizada por el establecimiento en m ³ /año AU		DANE (2020, pp. 24, 83)
porresidutrat_ind: Porcentaje de aguas residuales industriales tratadas de manera segura	EAI-ANONIMIZADO_CAP4_20	C3RH3VAT	Volumen de agua residual tratada y vertida (m ³ /año)	% de agua residual tratada = (volumen de agua tratada dentro del establecimiento + Volumen de agua entregado a un tercero para su tratamiento) / (Volumen total de aguas residuales generadas)	DANE (2020, pp. 48, 104)
	EAI-ANONIMIZADO_CAP4_20	VOAGETTRAT	Volumen de agua residual entregado a un tercero para su tratamiento (m ³ /año)		
	EAI-ANONIMIZADO_CAP4_20	C3RH3VTR	Volumen total de aguas residuales generadas por el establecimiento (m ³ /año)		
consuagua_ind: consumo de agua	EAI-ANONIMIZADO_CAP4_20	C3RH2VTC	Volumen total de agua utilizada por el establecimiento en m ³ /año.	% m ³ al año/ facturación anual	Leal (2005, p. 45)
	EAM 2020	VALORVEN	Valor de las ventas		

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.

Indicadores relacionados con el cuidado de la energía.

Energía					
Nombre del indicador	Encuesta	Variable	Nombre	Indicador	Fuente
consuelectri_ind: consumo de electricidad	EAM	C5R1C4	Total energía consumida (kWh)	% kWh energía consumida/facturación anual	Leal (2005, p. 46)
	EAM	VALORVEN	Valor de las ventas		
ecousoenergia_ind: indicador económico por el uso de la energía	EAM	VALAGRI	Valor agregado	valor agregado/consumo de energía	Indicadores de ecoeficiencia Cecodes (1996, citado por Leal, 2005, p. 60)
	EAM	C5R1C4	Total energía consumida (kWh)		

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.

Indicadores relacionados con el manejo de residuos.

Residuos					
Nombre indicador	Encuesta	Variable	Nombre	Indicador	Fuente
prodresid_ind: Proporción de residuos para disposición final de la Industria manufacturera	EAI-ANONIMIZADO_C AP3_20	(C2RSCI1_kg+C2RSCI2_kg+C2RSCI3_kg+C2RSCI4_kg+C2RSCI5_kg+C2RSCI6_kg+C2RSCI7_kg+C2RSCI8_kg+C2RSCI9_kg+C2RSCI10_kg)	Kilogramos de residuos dispuestos finalmente por un tercero (orgánicos, plásticos, papel y cartón, caucho, textiles, madera, vidrio, metal, no metálicos y mezclados). RD.	Este indicador se calcula dividiendo el total de residuos dispuestos sobre el total de residuos generados: Proporción de residuos dispuestos = $\frac{\sum RD}{\sum RG} * 100$ Donde: RD: son los residuos dispuestos por la industria manufacturera	DANE (2020, p. 44)

(Continúa)

Residuos					
Nombre indicador	Encuesta	Variable	Nombre	Indicador	Fuente
				RG: Son los residuos generados por la industria manufacturera	
	EAI-ANONIMIZADO_C AP3_20	C2RSCH1_kg+C2RSCH2_kg+C2RSCH3_kg+C2RSCH4_kg+C2RSCH5_kg+C2RSCH6_kg+C2RSCH7_kg+C2RSCH8_kg+C2RSCH9_kg+C2RSCH10_kg	Kilogramos de Residuos dispuesto finalmente por el establecimiento (orgánicos, plásticos, papel y cartón, caucho, textiles, madera, vidrio, metal, no metálicos y mezclados). RD.		
	EAI-ANONIMIZADO_C AP3_20	C2RSCA1_kg+C2RSCA2_kg+C2RSCA3_kg+C2RSCA4_kg+C2RSCA5_kg+C2RSCA6_kg+C2RSCA7_kg+C2RSCA8_kg+C2RSCA9_kg+C2RSCA10_kg	Residuos Cantidad Generada (Kg /año) (orgánicos, plásticos, papel y cartón, caucho, textiles, madera, vidrio, metal, no metálicos y mezclados). RG.		
efiprod_ind: Residuos generados sobre producción industrial	EAI-ANONIMIZADO_C AP3_20	C2RSCH1_kg+C2RSCH2_kg+C2RSCH3_kg+C2RSCH4_kg+C2RSCH5_kg+C2RSCH6_kg+C2RSCH7_kg+C2RSCH8_kg+C2RSCH9_kg+C2RSCH10_kg	Kilogramos de Residuos dispuesto finalmente por el establecimiento (orgánicos, plásticos, papel y cartón, caucho, textiles, madera, vidrio, metal, no metálicos y mezclados).	Eficiencia productiva (EP) = $\sum RD / PI$ Donde: RD= Residuos dispuestos por el establecimiento, en kilogramos PI= Producción de las Industrias Manufactureras, en miles de millones de pesos	DANE (2020, pp. 45, 102)
	EAM	PRODBR2	Producción Bruta		

Fuente: elaboración propia

Proceso de análisis

La implementación de la metodología de investigación se inició con la selección de los indicadores de ecoeficiencia, detallados en las tablas 3, 4 y 5, y su posterior cálculo utilizando datos de las encuestas EAM y EAI. Adoptando un enfoque descriptivo e inferencial, y utilizando el software SPSS 25 para el análisis de datos, se exploraron las variables de cada indicador para determinar la disponibilidad de información en los sectores, mediante pruebas descriptivas y de normalidad. Se aplicó una transformación de logaritmo natural para normalizar los datos, facilitando un análisis inferencial que empleó pruebas de comparación de medias para discernir diferencias significativas entre las empresas que implementan programas de gestión eficiente de agua, residuos, energía, y las que no, en relación con los indicadores de ecoeficiencia seleccionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para llevar a cabo los análisis, consideramos los recursos ambientales enumerados en la tabla 1, que incluyen agua, residuos y energía. Sin embargo, excluimos los gases de efecto invernadero debido a la insuficiencia de datos en las EAM sobre las toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera. Estas encuestas solo proporcionan información sobre la inversión económica destinada a mitigar dichas emisiones. Esta omisión constituye en sí misma un hallazgo significativo de la investigación, ya que resulta notable que, aunque se informe sobre inversiones para reducir la contaminación, no se disponga de datos sobre las emisiones reales.

En el proceso de análisis de los datos recolectados para este estudio, se implementaron diversas técnicas estadísticas preliminares para evaluar la idoneidad de los métodos paramétricos. Inicialmente, se elaboraron diagramas de caja para cada variable de interés, lo que permitió una inspección visual de la distribución de los datos y la identificación de posibles valores atípicos. Posteriormente, se realizaron pruebas de normalidad, incluyendo la prueba de Shapiro-Wilk, para determinar si las distribuciones de las variables se ajustaban a una distribución normal.

Los hallazgos indicaron que los datos no se adherían a los supuestos de normalidad y presentaban valores extremos, lo que podría sesgar los resultados de métodos paramétricos. Consecuentemente, se descartaron los métodos paramétricos, como la prueba t de Student, en favor de la estadística no paramétrica utilizando la prueba de Mann-Whitney para contrastar entre empresas con planes de gestión y seguimiento ambiental, y empresas sin dichos planes, respecto a los indicadores de ecoeficiencia en agua, energía y residuos, cuyos resultados se detallan en las tablas 6, 7 y 8.

Resultados sobre el uso del agua

Tabla 6.

Resultados de indicadores de ecoeficiencia en el consumo de agua.

Indicador 1 - Productividad hídrica en la industria manufacturera						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 1 - Alimentos, bebidas y tabaco	Sí	455	6,69	6,75	1,81	(0,000)
	No	178	7,50	7,36	2,14	

(Continúa)

Sector 8 - Textiles, confección, calzado y pieles	Sí	143	6,94	7,04	2,05	(0,000)
	No	231	7,95	8,06	1,69	
Indicador 2 - Porcentaje de aguas residuales industriales tratadas de manera segura						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 4 - Fabricación de sustancias y productos químicos	Sí	224	-0,29	0,00	1,05	(0,001)
	No	107	-0,74	-0,14	1,34	
Indicador 3 - Consumo de agua						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 1 - Alimentos, bebidas y tabaco	Sí	455	-7,77	-7,69	1,86	(0,000)
	No	178	-8,70	-8,24	2,20	
Sector 6 - Industria de productos minerales no metálicos	Sí	143	-7,68	-7,52	1,55	(0,018)
	No	79	-8,27	-7,92	1,86	
Sector 8 - Textiles, confección, calzado y pieles	Sí	143	-7,79	-7,81	1,94	(0,000)
	No	231	-8,74	-8,71	1,58	

Nota. * ¿El establecimiento cuenta con un programa para uso eficiente y ahorro del agua? (C3RH1PR), EAI, archivo ANONIMIZADO_CAP4_20. ** MW test: Prueba U de Mann-Whitney.

Fuente: elaboración propia.

Indicador productividad hídrica en la industria manufacturera

La productividad hídrica (PH) constituye un indicador de ecoeficiencia diseñado para evaluar la eficacia con la que las instalaciones industriales manufactureras generan valor económico mediante el consumo de recursos hídricos. Se formula como la razón entre el valor agregado (VA), expresado en miles de pesos, y el volumen total de agua utilizada (AU), medido en metros cúbicos, durante el proceso productivo. Un PH elevado sugiere una optimización en la gestión del agua para la creación de valor económico, lo que es esencial desde perspectivas tanto ambientales como económicas. Este indicador puede servir como una herramienta instrumental para la toma de decisiones estratégicas en la administración de recursos y para identificar oportunidades de mejora en procesos que requieran un consumo significativo de agua.

En el contexto del análisis, se exploró la existencia de diferencias en el PH entre empresas que implementan programas de uso eficiente y ahorro de agua y aquellas que no lo hacen, segmentado por sector industrial. Concretamente, se observaron discrepancias en dos sectores industriales: alimentos, bebidas y tabaco, por una parte, y textiles, confección, calzado y pieles, por otro (tabla 6, indicador 1, sector 1 y 8). El sector de alimentos, de acuerdo con los estándares de sostenibilidad (ISSB, 2023c), debe “describir los riesgos en la gestión del agua, además de revelar las estrategias y prácticas para mitigar dichos riesgos, como el consumo excesivo o desperdicio de agua” (p. 161). En la industria textil pasa algo similar, ya que según dichos estándares, “se deben presentar los riesgos junto con las estrategias para gestionarlos” (ISSB, 2023c,

p. 5). Llama la atención que solo dos sectores tendrían el indicador de productividad hídrica como una forma de demostrar dicha mitigación de riesgos.

Indicador porcentaje de aguas residuales industriales tratadas de manera segura

Este indicador es una métrica de ecoeficiencia que evalúa la eficacia con la que las instalaciones industriales gestionan sus aguas residuales mediante la consideración del volumen de agua tratada internamente y la entregada a terceros para su tratamiento, en relación con el volumen total generado. Este indicador no solo proporciona una perspectiva cuantitativa del desempeño ambiental de la empresa, especialmente en sectores industriales intensivos en el uso del agua, sino que también se erige como una herramienta fundamental para los tomadores de decisiones, permitiendo la identificación de áreas de mejora y la implementación de prácticas sostenibles en la gestión de aguas residuales, alineándose con perspectivas tanto ambientales como regulatorias.

En la investigación sobre el indicador “Porcentaje de aguas residuales industriales tratadas de manera segura”, se exploraron las diferencias entre empresas con y sin programas de uso eficiente y conservación del agua, hipotetizando que dichos programas promoverían la reutilización del agua mediante su tratamiento y, por ende, mejorarían la eficiencia hídrica. Se hallaron diferencias significativas particularmente en el sector de fabricación de sustancias y productos químicos (tabla 6, indicador 2, sector 4). Las empresas que implementan programas de agua no solo tienden a tratar y reutilizar una mayor cantidad de agua, reflejándose en un porcentaje superior de aguas industriales tratadas de manera segura, sino que también se alinean con las normas de sostenibilidad (issb, 2023c), que “exigen la divulgación de incidentes de incumplimiento relacionados con las normativas de calidad del agua” (p. 415). Este hallazgo es especialmente relevante para reguladores e inversores, proporcionando una perspectiva valiosa sobre el compromiso de las empresas para mitigar fuentes significativas de contaminación ambiental.

Indicador consumo de agua

El indicador de ecoeficiencia denominado “consumo de agua” se calcula mediante la relación entre el volumen total de agua utilizada por un establecimiento industrial en metros cúbicos por año ($m^3/año$) y el valor total de sus ventas anuales. Este indicador sirve como un barómetro para evaluar la eficiencia en el uso del recurso hídrico en relación con la generación de ingresos. Un valor más bajo del indicador sugiere una mayor eficiencia en la utilización del recurso hídrico para generar ingresos, lo cual es crítico tanto desde una perspectiva ambiental como económica. Al proporcionar una métrica cuantitativa, el indicador facilita la toma de decisiones estratégicas en la gestión de recursos, permitiendo a las organizaciones identificar áreas de mejora y adoptar prácticas más sostenibles en su consumo de agua.

En la investigación, se exploraron las variaciones en el consumo de agua entre empresas con y sin programas de uso eficiente y conservación del agua, hipotetizando que las primeras exhibirían un menor consumo de agua sin afectar su capacidad de generación de ingresos. Se observaron diferencias significativas en este indicador en sectores industriales específicos, como alimentos, textiles y tabaco; industria de productos minerales no metálicos; y confección de calzado y pieles (tabla 6, indicador 3, sectores 1, 6 y 8). Aunque la implementación de tecnologías y métodos que minimizan el uso del agua, como teñido en seco y técnicas de curtido menos dependientes del agua, no solo reduce el consumo de agua, sino que también puede mantener o aumentar la eficiencia en la generación de ingresos, es notable que solo tres de nueve

sectores proporcionan información para este indicador. Este escenario está destinado a cambiar, ya que las normas de sostenibilidad (ISSB, 2023c) exigen la divulgación del consumo de agua en todas las industrias, lo que probablemente cerrará la brecha informativa a medida que se adopten los informes bajo dichas normas.

Resultados sobre el uso de la energía

Tabla 7.

Resultados de indicadores de ecoeficiencia en el consumo de energía.

Indicador 1 - Indicador Consumo de energía						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 1 - Alimentos, bebidas y tabaco	Sí	319	-3,29	-3,29	1,05	(0,012)
	No	314	-3,51	-3,45	1,40	
Sector 4 - Fabricación de sustancias y productos químicos	Sí	182	-3,69	-3,84	1,29	(0,000)
	No	149	-4,27	-4,27	1,27	
Sector 5 - Industria de la madera y el corcho, fabricación de papel y actividades de edición e impresión	Sí	104	-2,89	-3,09	0,95	(0,005)
	No	178	-3,32	-3,34	1,19	
Sector 6 - Industrias de otros productos minerales no metálicos	Sí	124	-2,34	-1,97	1,28	(0,000)
	No	98	-3,06	-2,64	1,82	
Sector 7 - Metalurgia y fabricación de productos metálicos	Sí	99	-3,24	-3,07	1,19	(0,000)
	No	165	-3,76	-3,75	1,25	
Sector 8 - Textiles, confección, calzado y pieles	Sí	73	-3,21	-2,75	1,62	(0,000)
	No	301	-3,76	-3,80	1,21	
Indicador 2 - Indicador económico por el uso de la energía						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 1 - Alimentos, bebidas y tabaco	Sí	319	2,21	2,18	1,10	(0,011)
	No	314	2,36	2,40	1,58	
Sector 4 - Fabricación de sustancias y productos químicos	Sí	182	2,93	3,15	1,42	(0,001)
	No	149	3,49	3,59	1,49	
Sector 5 - Industria de la madera y el corcho, fabricación de papel y actividades de edición e impresión	Sí	104	1,99	2,18	1,09	(0,000)
	No	108	2,45	2,50	1,43	
Sector 6 - Industrias de otros productos minerales no metálicos	Sí	124	1,52	1,20	1,09	(0,001)
	No	98	2,11	2,00	1,86	
	Sí	99	2,31	2,29	1,37	

(Continúa)

Indicador 1 – Indicador Consumo de energía						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 7- Metalurgia y fabricación de productos metálicos	No	165	2,83	2,88	1,54	(0,001)
Sector 8 - Textiles, confección, calzado y pieles	Sí	73	2,38	2,10	1,72	(0,000)
	No	301	2,97	3,09	1,38	
Sector 9 - Otras divisiones industriales	Sí	132	2,74	2,75	0,97	(0,003)
	No	310	2,99	3,03	1,14	

Nota. * ¿El establecimiento cuenta con un programa de seguimiento y monitoreo ambiental como instrumento de planeación? (C4GA3IP5), EAI, archivo ANONIMIZADO_CAP5_20. ** MW test: Prueba U de Mann-Whitney.

Fuente: elaboración propia.

Indicador consumo de energía

El indicador de ecoeficiencia sobre consumo de energía evalúa la eficiencia energética en relación con la generación de ingresos, al dividir el consumo total de energía eléctrica en kilovatios por hora (kWh), por la facturación anual de la empresa. La implementación de este indicador no solo facilita la optimización de la gestión de recursos energéticos y la planificación de inversiones en tecnologías sostenibles, sino que también proporciona un marco para la evaluación y mejora continua de las prácticas energéticas dentro de las operaciones industriales.

La investigación reveló diferencias significativas en el indicador “consumo de energía” entre empresas con y sin programas de monitoreo ambiental en seis sectores industriales: i) alimentos, bebidas y tabaco; ii) fabricación de productos y sustancias químicas; iii) industria de la madera y el corcho, fabricación de papel y actividades de edición e impresión; iv) industria de productos minerales no metálicos; v) metalurgia y fabricación de productos metálicos; y vi) textiles, confección, calzado y pieles (tabla 7, indicador 1, sectores 1, 4, 5, 6, 7, 8). Estas diferencias pueden atribuirse a la intensidad energética inherente de estos sectores y a la posible influencia de la presión regulatoria y la conciencia pública sobre las implicaciones ambientales de sus operaciones. La adopción de programas de monitoreo ambiental en estos sectores no solo podría estar impulsada por estos factores, sino que también podría indicar un avance en la transición hacia la ecoeficiencia y una alineación con los nuevos estándares de sostenibilidad, como los propuestos por el (ISSB, 2023c), que exigen la divulgación del total de energía consumida en todas las industrias.

Indicador económico por el uso de la energía

En el contexto de esta investigación, se examinaron las variaciones en el indicador “económico por el uso de la energía”, que compara el valor agregado (VA) con el consumo de energía (CE). Esta métrica es crucial para evaluar cómo las empresas pueden generar valor económico de manera eficiente mientras consumen energía. La hipótesis subyacente sostiene que las empresas que han adoptado programas de monitoreo ambiental tienen una mayor probabilidad de identificar áreas para mejorar su eficiencia energética sin afectar

su valor económico. Esta mejora no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también facilita la transición hacia fuentes de energía renovable y tecnologías más limpias. Además, invertir en tecnologías sostenibles se convierte en una decisión estratégica clave para mejorar la eficiencia energética y, en última instancia, el rendimiento económico de la empresa.

En relación con esto, se observaron diferencias significativas en el indicador entre empresas con y sin programas de monitoreo ambiental en siete de los nueve sectores, específicamente en i) alimentos, bebidas y tabaco; ii) fabricación de productos y sustancias químicas; iii) industria de la madera y el corcho, fabricación de papel y actividades de edición e impresión; iv) industria de productos minerales no metálicos; v) metalurgia y fabricación de productos metálicos; vi) textiles, confección, calzado y pieles; y vii) otras divisiones industriales (tabla 7, indicador 2, sectores 1, 4, 5, 6, 7, 8 y 9). Estas diferencias se atribuyen a la alta demanda energética inherente a estos sectores industriales. La adopción de programas de monitoreo permite a las empresas detectar ineficiencias y mejorar su valor agregado sin sacrificar la calidad del producto. Este hallazgo es muy bueno, ya que, con excepción de los sectores de coquización, fabricación de productos de la refinación de petróleo y combustible nuclear, por una parte, y fabricación de productos de caucho y de plástico, por otra, todos los sectores presentan información para calcular este indicador, lo que muestra su compromiso hacia la sostenibilidad.

Resultados sobre la gestión de residuos

Tabla 8.

Resultados indicadores ecoeficiencia residuos.

Indicador 1- Proporción de residuos para disposición final de la Industria Manufacturera						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 4 - Fabricación de sustancias y productos químicos	Sí	285	-1,24	-0,91	1,25	(0,049)
	No	46	-0,89	-0,52	1,24	
Indicador 2 - Residuos generados sobre producción industrial - Eficiencia productiva						
Sector	Grupo*	Recuento	Media	Mediana	Desviación estándar	MW test**
Sector 3 - Fabricación de productos de caucho y plástico	Sí	208	-8,52	-8,92	1,80	(0,034)
	No	74	11,61	-11,91	1,85	

Nota. * ¿El establecimiento cuenta con un instrumento de medición de los residuos que genera? (REGRESIDGEN), EAI, archivo ANONIMIZADO_CAP3_20. ** MW test: Prueba U de Mann-Whitney.

Fuente: elaboración propia.

Indicador proporción de residuos para disposición final de la industria manufacturera

Un valor más bajo en este indicador sugiere una gestión de residuos más eficiente, alineada con los principios de la economía circular y la sostenibilidad. Este indicador es especialmente crítico en el sector de

fabricación de sustancias y productos químicos, donde se observaron diferencias significativas entre empresas que implementan sistemas de medición de residuos y aquellas que no lo hacen (tabla 8, indicador 1, sector 4). El estudio, que abarca nueve sectores, identifica que únicamente el sector químico demostró variaciones significativas en la gestión de residuos, lo que sugiere deficiencias en los otros sectores y subraya la urgencia de adoptar regulaciones más rigurosas y tecnologías avanzadas para mejorar la medición y reciclaje de residuos. Esta necesidad se hace aún más imperativa bajo los nuevos estándares del ISSB (2023), aplicables a todos los sectores industriales, los cuales exigen medir los residuos generados en forma transparente.

Indicador residuos generados sobre producción industrial

El índice de eficiencia productiva sirve como una métrica clave en la ecoeficiencia industrial, especialmente relevante para la industria manufacturera. Este índice evalúa la eficiencia con la que una instalación industrial gestiona sus residuos en relación con su producción económica, proporcionando información valiosa sobre la sostenibilidad y eficiencia operativa de la entidad. Un valor más bajo del índice indica una optimización de la producción y una reducción en la generación de residuos, mientras que un valor más alto sugiere una gestión de recursos menos eficiente y un mayor impacto ambiental. Este índice es de particular importancia para los responsables de la toma de decisiones en sostenibilidad, ya que ofrece un criterio cuantitativo para evaluar y mejorar las prácticas de manejo de residuos. Además, facilita la comparación entre diferentes sectores industriales y ayuda a identificar áreas de mejora en la cadena de producción.

En el ámbito de la ecoeficiencia, el sector de fabricación de productos de caucho y plástico presenta diferencias significativas en el índice de eficiencia productiva entre empresas que implementan sistemas de medición de residuos y aquellas que no lo hacen (tabla 8, indicador 2, sector 3). Esta variabilidad puede atribuirse a las características intrínsecas del sector, que a menudo implica procesos de fabricación intensivos en recursos y la generación de residuos complejos, incluidos materiales no biodegradables y subproductos químicos. Contrastando esto con el estándar de sostenibilidad (ISSB, 2023c), este último es más estricto en la información solicitada, ya que afirma que “las empresas de este sector deberían calcular y divulgar el porcentaje de residuos peligrosos reciclados, como el peso total de residuos peligrosos generados que fue reciclado, dividido entre el peso total de residuos peligrosos generados” (p. 429). Además, dicho porcentaje se solicita para más industrias, como la de la construcción, y la de alimentos.

Discusión de resultados frente a estrategias de circularidad

Revisando la literatura, se encontraron algunos estudios que muestran el éxito de las estrategias circulares en el sector manufacturero. Por ejemplo, en el estudio de Torres-Guevara et al. (2021), TECMO implementó la recuperación de residuos de acero, optimización de rutas de transporte y reducción del consumo de agua mediante la captación de aguas lluvias. Estas medidas resultaron en una disminución significativa de la huella de carbono, reduciendo un promedio de 78,21 toneladas de CO₂ equivalente por año, y en una reducción del consumo de agua en 786 m³ anuales. Similarmente, Lerdlattaporn et al. (2021) evaluaron la implementación de sistemas de biogás en la industria del almidón de yuca, logrando una reducción de emisiones a 0,14 kg CO₂eq/kg de almidón y mejorando la recuperación de agua, lo que permitió

la reutilización de hasta 5,9 m³ de agua por cada 1.000 kg de almidón producido. Estas estrategias mostraron cómo la economía circular puede reducir el impacto ambiental mediante la optimización de recursos y la reducción de emisiones.

Sin embargo, la contribución del presente estudio fue ir un paso más allá al definir indicadores de ecoeficiencia que no solo analicen los resultados ambientales logrados, sino también su impacto en los resultados financieros. Por ejemplo, la productividad hídrica (PH) evalúa la eficacia con la que las instalaciones industriales generan valor económico mediante el consumo de recursos hídricos, mientras que el indicador de consumo de agua se calcula mediante la relación entre el volumen total de agua utilizada y el valor total de las ventas anuales. Además, el indicador de ecoeficiencia sobre consumo de energía evalúa la eficiencia energética en relación con la generación de ingresos. Esta aproximación integral plantea la urgente necesidad de equilibrar las estrategias de sostenibilidad ambientales y sociales, con el mantenimiento de la rentabilidad de las empresas, asegurando que la transición hacia la sostenibilidad no sea frenada por preocupaciones financieras.

CONCLUSIONES

El propósito principal de esta investigación consistió en la evaluación de los indicadores de ecoeficiencia propuestos por el DANE entre empresas con y sin planes de gestión ambiental, lo que revela diferencias significativas en siete indicadores y resalta la importancia de estas métricas para demostrar la autenticidad y efectividad de las estrategias de sostenibilidad implementadas. Esta evidencia sugiere que los indicadores de ecoeficiencia no solo permiten a las empresas destacar su compromiso con la sostenibilidad, sino también facilitar comparaciones sectoriales que pueden influir en la toma de decisiones financieras fundamentadas. En el contexto de países en desarrollo, donde las prácticas de sostenibilidad están ganando terreno, es clave que las decisiones financieras no se basen únicamente en intuiciones, sino en una evaluación meticulosa de estrategias de sostenibilidad bien definidas.

La productividad hídrica se destaca como un indicador primordial para evaluar la ecoeficiencia en el ámbito manufacturero de Colombia. Específicamente, los sectores de alimentos, bebidas y tabaco, por una parte, y textiles y confección, por otra, muestran variaciones entre empresas que han implementado programas de uso eficiente y conservación del agua y las que no. Además, estos sectores, junto con el de productos minerales no metálicos, presentaron resultados significativos en el indicador de consumo de agua. Por otro lado, únicamente el sector de fabricación de productos y sustancias químicas mostró diferencias significativas en el indicador de tratamiento seguro de aguas residuales industriales, lo que plantea interrogantes sobre la necesidad de que más empresas inviertan en el tratamiento, tecnologías y métodos de conservación y reutilización del agua, alineándose con los principios de una economía circular eficaz.

Frente al recurso energía, el indicador consumo de energía y el indicador económico por el uso de energía resultaron significativos en varios sectores industriales: alimentos, bebidas y tabaco; fabricación de productos y sustancias químicas; industria de la madera y el corcho, fabricación de papel y actividades de edición e impresión; industria de productos minerales no metálicos; metalurgia y fabricación de productos metálicos; y textiles, confección, calzado y pieles. Las empresas que han implementado programas de seguimiento y monitoreo ambiental y aquellas que no han adoptado tales estrategias han demostrado ser un

catalizador para la optimización del consumo energético. La transición hacia fuentes de energía más limpias y tecnologías sostenibles es esencial para mejorar la eficiencia energética y, en última instancia, el rendimiento económico de las empresas, por lo cual contar con indicadores que les ayuden a tomar esta decisión, es fundamental para su estrategia empresarial.

En cuanto a la generación de residuos, el indicador proporción de residuos para disposición final es especialmente crítico en el sector de fabricación de productos y sustancias químicas, donde observamos diferencias significativas entre empresas que implementan sistemas de medición de residuos y aquellas que no lo hacen. De igual forma, el sector de fabricación de productos de caucho y plástico ha resaltado la importancia de una gestión eficiente de estos, especialmente en un contexto donde los materiales no biodegradables y subproductos químicos son prevalentes. La adopción de sistemas precisos de medición de residuos y prácticas alineadas con la economía circular es necesaria para garantizar una gestión sostenible de los residuos.

En conclusión, la implementación de estrategias de sostenibilidad en la industria manufacturera colombiana es esencial para lograr beneficios económicos y ambientales significativos. La incorporación de tecnologías de ahorro energético y la gestión eficiente de residuos sólidos no solo reducen el consumo de energía y la generación de desechos, sino que también disminuyen costos operativos y fortalecen la sostenibilidad financiera. La instalación de sistemas de ahorro de agua y paneles solares son prácticas efectivas para mejorar la ecoeficiencia. Además, el estudio ofreció una perspectiva integral sobre la adopción de estrategias de gestión de la ecoeficiencia, evaluadas mediante indicadores específicos generados a partir de sistemas robustos de contabilidad ambiental, basados en los estándares del ISSB, facilitando la toma de decisiones financieras orientadas hacia la sostenibilidad. Estas acciones promoverán la eficiencia operativa y aumentarán la capacidad de atraer inversiones responsables, destacando la sinergia entre ecoeficiencia, contabilidad ambiental y sostenibilidad.

Este estudio enfrentó una limitación en la disponibilidad y cantidad de datos. Inicialmente se contaba con información de más de 2.000 empresas distribuidas en nueve sectores, pero la escasez de datos completos redujo la muestra efectiva a 100-300 empresas por sector. Este problema resalta la necesidad de mejorar el reporte y la recopilación de información ambiental en el sector industrial colombiano. La adopción de los estándares de sostenibilidad del ISSB, junto con la alineación frente a los indicadores de ecoeficiencia del DANE, presenta una oportunidad para mejorar esta situación, fomentando un enfoque más holístico. Se recomienda que futuras investigaciones utilicen las encuestas del DANE para recalcular y comparar indicadores a lo largo del tiempo, especialmente con la introducción de nuevos indicadores en 2020. Además, sería beneficioso explorar la relación entre la adopción de tecnologías sostenibles y la mejora en indicadores de ecoeficiencia, así como la influencia de regulaciones internacionales y políticas gubernamentales en la gestión sostenible de las empresas.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no manifiestan conflictos de interés institucionales ni personales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arowoshegbe, A. O., Emmanuel, U., & Oghogho, O. (2016). Sustainability and Triple Bottom Line: an Overview of Two Interrelated Concepts. *Igbinedion University Journal of Accounting*, 2(January), 1-40. <https://www.researchgate.net/publication/322367106>
- Aranda-Usón, A., Portillo-Tarragona, P., Marín-Vinuesa, L. M., & Scarpellini, S. (2019). Financial resources for the circular economy: A perspective from businesses. *Sustainability (Switzerland)*, 11(3), 888. <https://doi.org/10.3390/su11030888>
- Ardiana, M., Agustina, R., & Pertiwi, D. A. (2023). Increasing Business Eco-Efficiency and Competitive Advantage through the Application of Green Accounting. *Buletin Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Haluoleo*, 25(1), 1-8. <https://doi.org/10.37149/bpsosek.v25i1.363>
- Arjaliès, D. L., & Mundy, J. (2013). The use of management control systems to manage CSR strategy: A levers of control perspective. *Management Accounting Research*, 24(4), 284-300. <https://doi.org/10.1016/j.mar.2013.06.003>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Bebbington, J., & Larrinaga, C. (2014). Accounting and sustainable development: An exploration. *Accounting, Organizations and Society*, 39(6), 395-413. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.01.003>
- Bremberger, C., Bremberger, F., Luptacik, M., & Schmitt, S. (2015). Regulatory impact of environmental standards on the eco-efficiency of firms. *Journal of the Operational Research Society*, 66(3), 421-433. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.176>
- Chamorro González, C., & Peña-Vinces, J. (2023). A framework for a green accounting system-exploratory study in a developing country context, Colombia. *Environment, Development and Sustainability*, 25(9), 9517-9541. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02445-w>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2020). *Primer reporte Economía Circular 2020*. DANE. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economia-circular-1-reporte.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2021). *Encuesta Anual Manufacturera - EAM 2020*. DANE. <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/724/study-description>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2022). *Encuesta Ambiental Industrial - EAI - 2020*. DANE. <https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/746/study-description>
- Dhar, B. K., Sarkar, S. M., & Ayithey, F. K. (2022). Impact of social responsibility disclosure between implementation of green accounting and sustainable development: A study on heavily polluting companies in Bangladesh. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(1), 71-78. <https://doi.org/10.1002/csr.2174>
- Di Vaio, A., Hasan, S., Palladino, R., & Hassan, R. (2023). The transition towards circular economy and waste within accounting and accountability models: a systematic literature review and conceptual framework. *Environment, Development and Sustainability*, 25(1), 734-810. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02078-5>
- Durand, R., Paugam, L., & Stolowy, H. (2019). Do investors actually value sustainability indices? Replication, development, and new evidence on CSR visibility. *Strategic Management Journal*, 40(9), 1471-1490. <https://doi.org/10.1002/smj.3035>

- Footprint data Foundation. (2022). *National Footprint and Biocapacity Accounts*.
<https://data.footprintnetwork.org/#/>
- Gao, G., Wang, S., Xue, R., Liu, D., Huang, B., & Zhang, R. (2022). Eco-efficiency assessment of industrial parks in Central China: a slack-based data envelopment analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(20), 30410-30426. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17485-4>
- Goshime, Y., Kitaw, D., & Jilcha, K. (2019). Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(2), 691-714.
<https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2017-0063>
- Helander, H., Petit-Boix, A., Leipold, S., & Bringezu, S. (2019). How to monitor environmental pressures of a circular economy: An assessment of indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 23(5), 1278-1291.
<https://doi.org/10.1111/jiec.12924>
- Ibrahim, M. D., Alola, A. A., & Ferreira, D. C. (2023). Assessing sustainable development goals attainment through energy-environmental efficiency: The case of Latin American and Caribbean countries. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57, 103219.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103219>
- International Sustainability Standards Board [ISSB]. (2023a). IFRS S1 General Requirements for Disclosure of Sustainability-related Financial Information. *International Sustainability Standards Board, June*.
- International Sustainability Standards Board [ISSB]. (2023b). IFRS S2 Climate-related Disclosures. *International Sustainability Standards Board, June*.
- International Sustainability Standards Board [ISSB]. (2023c). IFRS S2 Industry-based Guidance on implementing Climate-related Disclosures. *International Sustainability Standards Board, June*.
- Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.111>
- Leal, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*. Cepal.
<https://hdl.handle.net/11362/5644>
- Lerdlattaporn, R., Phalakornkule, C., Trakulvichean, S., & Songkasiri, W. (2021). Implementing circular economy concept by converting cassava pulp and wastewater to biogas for sustainable production in starch industry. *Sustainable Environment Research*, 31(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00093-9>
- Lewandowski, M. (2016). Designing the business models for circular economy-towards the conceptual framework. *Sustainability*, 8(1), 43. <https://doi.org/10.3390/su8010043>
- Lijun, J., & Guoshuang, T. (2021). Construction of eco-efficiency accounting model of forest resource based on green development. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, art. 899. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07196-y>
- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. In *Gobierno de Colombia*. <https://economiecircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/05/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-Gobierno-de-Colombia.pdf>
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
- Neri, A., Cagno, E., Lepri, M., & Trianni, A. (2021). A triple bottom line balanced set of key performance indicators to measure the sustainability performance of industrial supply chains. *Sustainable Production*

- and Consumption, 26, 648-691. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.12.018>
- Nikolaou, I. E., Tsalis, T. A., & Evangelinos, K. I. (2019). A framework to measure corporate sustainability performance: A strong sustainability-based view of firm. *Sustainable Production and Consumption*, 18, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.10.004>
- Pardo Martínez, C. I., & Cotte Poveda, A. (2011). La eficiencia energética en la industria manufacturera Colombiana: Una estimación con DEA y Datos de Panel. *Economía, Gestión y Desarrollo*, 11, 39-58. <https://www.researchgate.net/publication/254399752>
- Pardo Martínez, C. I., & Cotte Poveda, A. (2022). Strategies to improve sustainability: an analysis of 120 microenterprises in an emerging economy. *Global Sustainability*, 5, e3. <https://doi.org/10.1017/sus.2022.3>
- Pauliuk, S. (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019>
- Rincón-Moreno, J., Ormazábal, M., Álvarez, M. J., & Jaca, C. (2021). Advancing circular economy performance indicators and their application in Spanish companies. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123605>
- Rodríguez, D. (2022, 17 de mayo). Colombia genera 12 millones de toneladas de basura al año. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/colombia-genera-12-millones-de-toneladas-de-basura-al-ano-565581>
- Rodríguez-García, M. del P., Galindo-Manrique, A. F., Cortez-Alejandro, K. A., & Méndez-Sáenz, A. B. (2022). Eco-efficiency and financial performance in Latin American countries: An environmental intensity approach. *Research in International Business and Finance*, 59, 101547. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101547>
- Roque, D. I., Escobar Rodríguez, J. H., De La Oliva De Con, F., Moreno Soto, S. T., Chaparro Pérez, E. A., & Cifuentes Villaraga, A. A. (2020). Los costos ambientales en los proyectos de inversión. *Palermo Business Review*, 22, 85-100. https://www.palermo.edu/negocios/cbrs/pdf/pbr22/PBR_22_05.pdf
- Sarfraz, M., Ozturk, I., Yoo, S., Raza, M. A., & Han, H. (2023). Toward a new understanding of environmental and financial performance through corporate social responsibility, green innovation, and sustainable development. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), art. 297. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01799-4>
- Scarpellini, S., Marín-Vinuesa, L. M., Aranda-Usón, A., & Portillo-Tarragona, P. (2020). Dynamic capabilities and environmental accounting for the circular economy in businesses. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 11(7), 1129-1158. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-04-2019-0150>
- Tiwari, K., & Khan, M. S. (2020). Sustainability accounting and reporting in the industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120783>
- Torres-Guevara, L. E., Prieto-Sandoval, V., & Mejía-Villa, A. (2021). Success Drivers for Implementing Circular Economy: A Case Study from the Building Sector in Colombia. In *Sustainability*, 13(3), 1350. <https://doi.org/10.3390/su13031350>
- Tsalis, T. A., Malamateniou, K. E., Koulouriotis, D., & Nikolaou, I. E. (2020). New challenges for corporate sustainability reporting: United Nations' 2030 Agenda for sustainable development and the sustainable development goals. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 27(4), 1617-1629. <https://doi.org/10.1002/csr.1910>

- United Nations Conference on Trade and Development. (2008). *Guidance on corporate responsibility indicators in annual reports*. United Nations.
- Valencia-Rodríguez, O., Olivar-Tost, G., & Redondo, J. M. (2018). Modeling a productive system incorporating elements of business sustainability. *DYNA*, 85(207 SE-Artículos), 113-122.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.71209>
- Verfaillie, H. A., & Bidweel, R. (2000). *World Business Council for Sustainable Development eco-efficiency measuring a guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development.
- Worldometers. (2016). *Carbon Dioxide (CO₂) Emissions by Country*. Colombia.
<https://www.worldometers.info/co2-emissions/>