

Chapter 8 / Capítulo 8

Realities of business in the face of the 2030
Agenda: Perspectives from organizations in
the Colombian Caribbean
ISBN: 978-9915-9966-0-8
DOI: 10.62486/978-9915-9966-0-8.Ch08
Pages: 172-196



© 2026 The authors. This is an open access
book chapter distributed under the terms of
the Creative Commons Attribution (CC BY)
4.0 License.

Circular Economy and Environmental Management in Organizations of the Colombian Caribbean: Challenges for Sustainable Production and Consumption within the 2030 Agenda

Economía circular y gestión ambiental en las organizaciones del Caribe colombiano: desafíos para la producción y el consumo sostenibles ante la Agenda 2030

Verenice Sánchez Castillo¹  

Adriana Paola Pomares Mendoza²  

Yuri Otero Sotelo³  

1 Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

2 Corporación Universitaria Americana. Barranquilla, Colombia.

3 Institución Universitaria Mayor de Cartagena. Cartagena, Colombia.

ABSTRACT

Circular economy initiatives in the Colombian Caribbean require a shift from isolated recycling activities towards verifiable changes in product design, production, consumption, reverse logistics, water, energy and material recovery. This chapter brings together ECLAC evidence, studies of Barranquilla industry, Colombian manufacturing research and scholarship on material-flow accounting, circular finance, business models and port-city governance. It distinguishes material circularity from environmental and social sustainability, examines relevant Colombian regulations and proposes a pathway for measurement and implementation. International comparisons are treated as contextual evidence, not as original findings for the region.

Keywords: circular economy; environmental management; responsible production; Colombian Caribbean; 2030 Agenda

RESUMEN

La economía circular en el Caribe colombiano requiere pasar de iniciativas aisladas de reciclaje a transformaciones verificables en diseño, producción, consumo, logística inversa, agua, energía y valorización de materiales. El capítulo articula evidencia de la CEPAL, estudios industriales de Barranquilla, investigaciones manufactureras colombianas, literatura sobre contabilidad de flujos, finanzas circulares, modelos de negocio y gobernanza puerto-ciudad. Se distingue entre circularidad material y sostenibilidad ambiental y social, se analizan obligaciones regulatorias colombianas y se propone una ruta de medición e implementación. Las comparaciones internacionales se presentan como evidencia contextual, no como resultados del Caribe.

Palabras clave: economía circular; gestión ambiental; producción responsable; Caribe colombiano; Agenda 2030

INTRODUCCIÓN

DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS A LA TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS

La transición hacia una economía circular no puede reducirse a una campaña de separación de residuos. En el modelo lineal, la creación de valor se organiza predominantemente alrededor de extraer, transformar, comercializar y descartar. La perspectiva circular interroga tanto el origen de los materiales como la duración del uso, la posibilidad de reparación y el destino de componentes después de su primer ciclo. La Ellen MacArthur Foundation (2015) destaca que la preservación de valor requiere rediseñar productos, contratos e incentivos y no solamente aumentar tasas de reciclaje. Este enfoque es relevante para el Caribe colombiano, donde coexisten grandes instalaciones industriales y portuarias, actividades agroalimentarias, emprendimientos urbanos y cadenas de aprovechamiento con distintas capacidades de inversión y formalización.

La Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia (Gobierno de Colombia, 2019) plantea un tránsito hacia el aprovechamiento eficiente de materiales, agua y energía, articulado con innovación y colaboración. Sin embargo, la existencia de un marco nacional no demuestra que cada departamento del Caribe haya implementado las mismas prácticas ni alcanzado resultados equivalentes. La pertinencia territorial exige examinar flujos concretos: empaques y envases en centros urbanos, biomasa residual de cadenas agroindustriales, residuos de construcción, agua industrial, equipos eléctricos y materiales procedentes de operaciones logísticas. Cada flujo tiene composición, riesgo sanitario, mercado y exigencias regulatorias distintos. La discusión de este capítulo se sitúa en ese nivel de diferenciación, sin extrapolar estadísticas nacionales a municipios para los que no se dispone de mediciones comparables.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y su Panel Internacional de Recursos (2024) advierten que la presión global sobre extracción y consumo de recursos está conectada con cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación. Este diagnóstico permite establecer una precaución: sustituir un material por otro no constituye necesariamente una mejora si el nuevo material requiere más energía, agua o transporte. Las decisiones empresariales deben considerar el ciclo de vida, la disponibilidad regional de tecnologías y los efectos distributivos. Para una organización del Caribe, el criterio de circularidad debe vincularse con reducción de impactos absolutos y preservación de valor, no únicamente con la compra de materiales etiquetados como reciclables.

DEFINICIÓN, ALCANCE Y TENSIONES DEL CONCEPTO DE CIRCULARIDAD

Kirchher et al. (2017) estudiaron 114 definiciones de economía circular y mostraron que buena parte de ellas privilegia reducir, reutilizar y reciclar, mientras presta menor atención a cambios sistémicos y a dimensiones sociales. La heterogeneidad conceptual plantea un problema de comparabilidad: una empresa puede llamar circular a la sustitución de empaques, otra a la recuperación de materiales y otra a un modelo de servicio basado en prolongar la vida útil de equipos. Sin un marco explícito, los indicadores agregados mezclan intervenciones distintas. Este capítulo entiende la circularidad como transformación coordinada de flujos materiales y relaciones organizacionales para reducir extracción y descarte, mantener utilidad y generar beneficios ambientales, económicos y sociales que puedan evaluarse por separado.

Geissdoerfer et al. (2017) distinguieron las relaciones posibles entre economía circular y sostenibilidad, mostrando que los conceptos no son sinónimos perfectos. Una actividad de recuperación puede generar ingresos y, simultáneamente, implicar riesgos laborales o ambientales si se desarrolla sin protección ni controles. Asimismo, un modelo rentable de reutilización puede inducir un aumento del consumo total cuando abarata el acceso a productos. Estas tensiones aconsejan medir impactos netos, condiciones de trabajo y cambios de escala. La norma ISO 59004:2024 ofrece vocabulario, principios y orientaciones generales de implementación; su utilidad reside en ordenar decisiones, no en certificar por sí misma que una empresa sea sostenible. La adopción de un estándar debe acompañarse de evidencia sobre resultados y de delimitaciones claras del sistema evaluado.

La circularidad también es un problema de gobernanza. Para que una materia secundaria sustituya efectivamente a una materia virgen se requieren estándares de calidad, demanda estable, trazabilidad, almacenamiento y acuerdos entre empresas. La Ellen MacArthur Foundation (2015) sitúa los modelos de negocio, la reparación y la recuperación de valor como elementos de una transición sistémica. En un contexto de cadenas fragmentadas, la cooperación no surge

automáticamente por la disponibilidad física de residuos. Las organizaciones deben decidir quién asume costos de clasificación, quién garantiza calidad y quién responde por fallas del material recuperado. Sin estas condiciones, una iniciativa puede acumular inventarios de residuos sin reincorporarlos a procesos productivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EVIDENCIA DE EMPRESAS DEL CARIBE: CONTABILIDAD SOCIOAMBIENTAL Y CAPACIDADES

Vargas González, Gallego y López (2024) analizaron etapas para implementar contabilidad socioambiental en empresas industriales de la zona industrial de Barranquilla, combinando revisión documental con información recabada entre profesionales contables. Su trabajo constituye evidencia localizada sobre la importancia de integrar información ambiental a decisiones y sistemas de gestión. No obstante, una investigación sobre prácticas y etapas de implementación no debe interpretarse como una estimación del nivel de circularidad de toda la industria barranquillera. La aportación central para este capítulo es organizacional: sin clasificación consistente de entradas, consumos, residuos y responsabilidades, las estrategias de circularidad no pueden ser evaluadas ni comparadas en el tiempo.

Una contabilidad socioambiental útil para la economía circular debería distinguir materiales adquiridos, materiales incorporados al producto, pérdidas de proceso, residuos recuperables, residuos peligrosos y destino comprobado de los flujos. El registro contable financiero tradicional puede captar el gasto de disposición, pero no necesariamente el costo de oportunidad del material perdido ni los efectos de externalidades. A partir de Vargas González et al. (2024), puede proponerse un sistema de centros de responsabilidad que conecte compras, producción, mantenimiento, ambiente y finanzas. Se trata de una propuesta de aplicación derivada de la literatura, no de un sistema ya probado en las empresas estudiadas.

La evidencia internacional de Gazzola, Pavione y D'Adamo (2026) sobre sostenibilidad y transparencia en comercio electrónico permite ampliar la discusión a empaques, devoluciones y última milla. El aumento de ventas digitales puede trasladar impactos hacia el transporte y la gestión de residuos, mientras los reportes corporativos pueden privilegiar iniciativas visibles y omitir flujos menos favorables. Para empresas comerciales del Caribe colombiano, la trazabilidad debe vincular unidades vendidas, peso de empaque, devoluciones, distancia de distribución y destino final. El uso de tecnologías digitales puede facilitar registros, pero no sustituye la verificación de materiales ni garantiza reducción de impactos.

REGULACIÓN COLOMBIANA: OBLIGACIONES DIFERENCIADAS Y CAMBIOS NORMATIVOS

La política colombiana combina instrumentos de orientación estratégica y obligaciones jurídicas específicas. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018, 2024) ha establecido y modificado disposiciones para la gestión de envases, empaques y ciertos plásticos de un solo uso. La Estrategia Nacional de Economía Circular (Gobierno de Colombia, 2019) promueve eficiencia de recursos y colaboración; la Ley 1672 de 2013 estableció lineamientos para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos; y la Ley 2232 de 2022 definió medidas para reducir gradualmente ciertos plásticos de un solo uso. Estos instrumentos no regulan exactamente los mismos sujetos, productos ni actividades. Por tanto, un análisis empresarial debe comenzar identificando el rol jurídico de la organización —productor, importador, comercializador, consumidor o gestor— antes de asignar obligaciones. La relevancia de una norma para un sector no implica que todas sus disposiciones se apliquen de forma idéntica a cada empresa.

La Resolución 1407 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo estableció reglas para la gestión de residuos de envases y empaques, pero su interpretación actual requiere considerar modificaciones posteriores. La Resolución 0803 de 2024 desarrolló aspectos de la Ley 2232 y modificó disposiciones de la regulación de envases y empaques, incluida la responsabilidad extendida del productor. No sería correcto citar exclusivamente el texto original de 2018 como si permaneciera íntegro y sin cambios. En un libro dirigido a organizaciones empresariales, el análisis normativo debe distinguir vigencia, sujetos obligados, materiales cubiertos, metas de gestión, sistemas colectivos y reportes. La trazabilidad jurídica constituye una condición de calidad editorial y de gestión de riesgos, particularmente para empresas que comercializan bienes en

empaques de diferentes materiales.

El marco regulatorio abre oportunidades de innovación, pero también impone costos de cumplimiento y necesidades de coordinación. Para mipymes que participan como proveedoras o gestoras, la falta de escala puede dificultar sistemas de recolección y certificación. La respuesta no debe consistir en recomendar informalmente que todos los residuos se comercialicen, pues existen materiales sujetos a manejo diferenciado y exigencias de autorización. La Ley 1672 de 2013 ilustra la necesidad de rutas especiales para residuos eléctricos y electrónicos. La Ley 2232 de 2022 y la Resolución 0803 de 2024, por su parte, muestran que la sustitución de productos y el aprovechamiento deben analizarse dentro de un régimen de transición, con obligaciones que requieren comprobación actualizada antes de orientar decisiones concretas.

CIRCULARIDAD, FINANCIAMIENTO Y BARRERAS DE IMPLEMENTACIÓN

Mia et al., (2026) revisaron la literatura sobre financiación de la economía circular y encontraron una concentración importante de estudios en contextos europeos, con menor atención a América Latina. Esta asimetría de investigación impide trasladar sin examen las conclusiones de mercados con instrumentos financieros, infraestructuras y marcos regulatorios distintos. Para una mipyme del Caribe colombiano, las inversiones circulares pueden exigir capital de trabajo para acopiar material, financiamiento de equipos, certificaciones y contratos de suministro. El retorno depende de calidad de los materiales recuperados, demanda efectiva y estabilidad de precios. El diseño financiero debe contemplar incertidumbre comercial y riesgos ambientales, además de la promesa de ahorro en materia prima.

La distinción entre financiación verde y financiación circular también merece atención. Un préstamo destinado a eficiencia energética puede disminuir consumo sin alterar el modelo de uso de materiales; una línea para reciclaje puede aumentar recuperación sin reducir necesariamente emisiones absolutas. Mia et al. (2026) ofrecen un punto de partida para examinar instrumentos, pero no establecen una receta universal de financiación. Una política territorial podría priorizar diagnósticos técnicos, garantías, acuerdos de compra de material recuperado y asistencia para trazabilidad. La evidencia de desempeño debería medir continuidad del proyecto, material efectivamente reincorporado y rentabilidad después de costos de recolección y tratamiento, en lugar de limitarse a reportar recursos desembolsados.

PUERTO, CIUDAD Y SIMBIOSIS INDUSTRIAL: ARTICULACIÓN DE ESCALAS

De Martino (2022), al estudiar la relación entre Rotterdam y su territorio portuario, muestra cómo los procesos históricos de desarrollo y los arreglos institucionales condicionan oportunidades de circularidad. El caso europeo no es una prueba de resultados para el Caribe colombiano, pero permite plantear preguntas pertinentes sobre relaciones puerto-ciudad, disponibilidad de suelo, redes de intercambio y participación de autoridades. Las terminales, zonas industriales, operadores de residuos y municipios pueden compartir infraestructura o flujos, siempre que exista compatibilidad técnica, económica y normativa. La proximidad física por sí sola no crea simbiosis industrial: se requieren contratos, calidad de material, gestión de riesgos y mecanismos de coordinación.

En el Caribe colombiano, los corredores entre puertos y zonas productivas ofrecen una escala intermedia para observar circularidad. Los residuos de empaque, materiales de mantenimiento, componentes de equipos y biomasa de actividades agroindustriales pueden requerir soluciones distintas. Un esquema de simbiosis debería registrar el origen del flujo, su clasificación, tratamientos necesarios, costos de transporte, capacidad de recepción y sustitución efectiva de insumos vírgenes. La comparación de alternativas debe considerar impactos fuera de la instalación: un material recuperado que recorre distancias excesivas puede perder parte de sus beneficios ambientales. Esta propuesta de seguimiento territorial deriva de la lógica sistémica de DeMartino (2022) y de los principios de ISO 59004:2024; no constituye un inventario empírico de flujos regionales ya levantado.

DISCUSIÓN CRÍTICA Y RUTA DE INVESTIGACIÓN

La evidencia examinada converge en una idea: el indicador de toneladas recicladas es necesario para ciertos programas, pero insuficiente para afirmar sostenibilidad. Kirchherr et

al. (2017) advierten sobre la reducción del concepto a las tres erres; Geissdoerfer et al. (2017) señalan la necesidad de distinguir circularidad y sostenibilidad; y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024) sitúa la presión sobre recursos en un problema ambiental global. Para el Caribe colombiano, una evaluación debería combinar intensidad de materiales, reducción de insumos vírgenes, emisiones, agua, calidad del empleo y valor económico retenido localmente. La selección de indicadores debe adaptarse al sector y al tamaño empresarial, sin perder comparabilidad metodológica.

Una agenda de investigación progresiva podría comenzar con estudios de caso de empresas y cadenas seleccionadas, avanzar hacia balances de materiales y posteriormente contrastar resultados antes y después de intervenciones. La evidencia de Barranquilla aportada por Vargas González et al. (2024) ofrece un punto de entrada para sistemas de información socioambiental; la revisión financiera de Mía et al. (2026) permite formular preguntas sobre acceso a capital; y la regulación colombiana exige verificar responsabilidades de productores y gestores. La prioridad no es producir una clasificación nominal de empresas circulares, sino establecer criterios replicables para demostrar cambios materiales y sociales. Los resultados de cualquier futuro trabajo de campo deberán diferenciarse de los argumentos documentales aquí expuestos.

AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: CIRCULARIDAD, ESTRUCTURA PRODUCTIVA Y JUSTICIA DE LA TRANSICIÓN

La economía circular debe examinarse como una transformación de la estructura productiva y no como un atributo aislado de determinadas empresas. De Miguel, Martínez, Pereira y Kohout (2021), en el estudio de la CEPAL sobre América Latina y el Caribe, relacionan la transición circular con políticas productivas, gestión de residuos, responsabilidad extendida del productor y oportunidades de empleo. Esta perspectiva resulta decisiva para el Caribe colombiano porque una parte de las oportunidades de aprovechamiento se encuentra en cadenas donde el material cambia de propietario varias veces antes de reincorporarse a un proceso. La recuperación puede agregar valor a un actor y trasladar costos a otro. Por ello, la pregunta territorial no se limita a cuántas toneladas se recuperan, sino a quién financia la clasificación, quién controla la calidad, quién asume los riesgos de almacenamiento y cómo se distribuye el valor creado. La política debe evitar que la circularidad se convierta en una obligación de bajo margen para actores con escasa capacidad de negociación.

El informe regional de la CEPAL (de Miguel et al., 2021) permite diferenciar tres niveles de intervención. En el nivel de producto se modifican diseño, composición y duración; en el nivel de empresa se revisan compras, procesos, inventarios y modelos de ingresos; y en el nivel de sistema se transforman infraestructura, reglas de mercado y relaciones entre productores, consumidores y gestores. La separación es analítica, porque una medida de un nivel depende de los otros. Un envase retornable, por ejemplo, solo mantiene su ventaja si existe logística de recuperación, lavado, inspección y nueva utilización. La alternativa de un empaque biodegradable tampoco puede juzgarse sin examinar el tratamiento final disponible. Para los departamentos caribeños, caracterizados por diferentes densidades urbanas y distancias logísticas, no resulta adecuado trasladar una solución de un centro industrial a municipios con menor escala de generación. La política diferenciada debe partir de flujos y capacidades realmente existentes.

La dimensión social obliga a considerar la formalización y la inclusión de quienes ya realizan actividades de recuperación. El tránsito a sistemas con trazabilidad y certificación puede elevar estándares ambientales, pero también concentrar contratos en operadores que disponen de capital y tecnología. El diagnóstico de deMiguel et al. (2021) sobre estructuras del sector residuos muestra por qué las estrategias circulares requieren políticas complementarias. Un programa empresarial debería medir tanto el material que vuelve al ciclo productivo como la continuidad de los ingresos de los trabajadores vinculados, las condiciones de seguridad y la estabilidad de acuerdos comerciales. No se propone presumir que toda organización de reciclaje sea formal o informal: esa clasificación exige información verificable. La tesis de este capítulo es que una transición ambientalmente eficiente y socialmente excluyente presenta una contradicción sustantiva con la Agenda 2030, particularmente con los objetivos de trabajo decente, reducción de desigualdades y producción responsable.

Las políticas nacionales ofrecen orientación, pero no sustituyen el diagnóstico territorial. El Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2021) organiza acciones en producción sostenible, consumo, gestión integral de residuos y financiamiento; su utilidad comparativa reside en mostrar que la coordinación

institucional forma parte del diseño de la transición. La Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia (Gobierno de Colombia, 2019) también propone una visión articulada de materiales, agua y energía. Ninguno de los dos documentos constituye evidencia de que una intervención concreta haya producido beneficios en el Caribe colombiano. La comparación sirve para construir preguntas de evaluación: ¿existe responsable institucional por flujo?, ¿hay capacidad de medir resultados?, ¿los instrumentos financieros se corresponden con el riesgo del proyecto?, ¿las organizaciones pequeñas pueden participar? La respuesta debe buscarse en registros de implementación, no en la formulación de la política.

ECOEficiencia y Evidencia Manufacturera Colombiana: Lo que Muestran y No Muestran los Indicadores

La relación entre prácticas ambientales y desempeño industrial requiere una lectura sectorial. Reyes Maldonado, Durán Peña y Angarita Vargas (2024) estudiaron indicadores de ecoeficiencia en nueve sectores manufactureros colombianos con información de la Encuesta Ambiental Industrial y la Encuesta Anual Manufacturera del DANE correspondiente a 2020. Encontraron diferencias en varios indicadores vinculados con agua, energía y residuos, así como brechas de información relevantes para la revelación de sostenibilidad. El valor de esta investigación para el Caribe es metodológico: muestra que una medida homogénea de ecoeficiencia puede ocultar procesos productivos de naturaleza distinta. La intensidad de agua en alimentos no tiene la misma interpretación que en actividades de ensamble; tampoco una tonelada de residuo peligroso puede sumarse sin más a una tonelada de material recuperable. Antes de establecer metas empresariales deben definirse actividad, unidad funcional, periodo y fronteras de medición.

La ecoeficiencia no equivale a circularidad. Una fábrica puede reducir la energía consumida por unidad producida sin modificar su dependencia de materias primas vírgenes; también puede aumentar la proporción de material recuperado mientras crecen sus consumos totales. Reyes Maldonado et al. (2024) aportan evidencia sobre la utilidad de comparar indicadores y planes de gestión, pero sus resultados no permiten atribuir causalidad a la adopción de una estrategia ambiental ni calcular efectos específicos en Barranquilla o Cartagena sin desagregaciones apropiadas. Para evaluar una iniciativa circular se requieren indicadores complementarios: insumos secundarios efectivamente incorporados, duración del producto, residuos evitados, intensidad energética del reprocesamiento y sustitución neta de material primario. La comparación debe incorporar los costos de recuperación y la calidad final, porque una solución que parece eficiente en el punto de generación puede ser ineficiente después del transporte y tratamiento.

La contabilidad socioambiental es una condición organizacional de esa medición. Vargas et al., (2024) examinaron su implementación en empresas industriales de la zona de Barranquilla; en un trabajo complementario, Vargas González, Gallego y Hernández (2024) caracterizaron distintos enfoques de contabilidad socioambiental industrial. Leídos conjuntamente, ambos estudios sostienen la conveniencia de vincular información contable y gestión ambiental, pero no autorizan a afirmar que exista un sistema uniforme en todas las empresas regionales. Una propuesta empresarial debe establecer centros de costo para materias primas, mermas, residuos, energía, agua y servicios de gestión, así como responsables de validar los registros. El objetivo no es multiplicar indicadores sin propósito, sino permitir decisiones comparables entre comprar material virgen, reparar equipos, contratar tratamiento externo o rediseñar un producto. La trazabilidad contable debe conectar una decisión financiera con su consecuencia material.

La comparabilidad exige distinguir indicadores absolutos y relativos. El cociente entre toneladas de residuos y ventas puede disminuir por un aumento de precios sin que cambie el flujo físico; el cociente entre energía y producción puede mejorar mientras las emisiones crecen por expansión del volumen. Los sistemas de información recomendados por Reyes Maldonado et al. (2024) deben, por tanto, registrar numeradores y denominadores y permitir reconstruir la serie. Para empresas pequeñas, un conjunto reducido de datos fiables es preferible a un tablero extenso que nadie audita. Se propone registrar mensualmente masa de insumos por tipo, unidades producidas, material rechazado, residuos entregados con soporte y consumo energético; trimestralmente, revisar pérdidas, costos y contratos; y anualmente, evaluar cambios de diseño y sustitución de materiales. Esta periodicidad es una propuesta de gestión, no una práctica comprobada de las empresas estudiadas.

ENVASES, PLÁSTICOS Y RESPONSABILIDAD EXTENDIDA: DE LA OBLIGACIÓN FORMAL AL CAMBIO MATERIAL

La cadena de envases y empaques es una de las áreas donde convergen obligaciones regulatorias, decisiones comerciales y riesgos de comunicación engañosa. La Ley 2232 de 2022 y la Resolución 0803 de 2024 establecen disposiciones para reducir gradualmente ciertos plásticos de un solo uso y desarrollar instrumentos de responsabilidad extendida del productor. La Resolución 0803 modificó disposiciones de la Resolución 1407 de 2018, por lo que una empresa no debe diseñar su cumplimiento usando una versión normativa aislada. La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales explica que la regulación incorpora requisitos de trazabilidad, certificación y seguimiento de flujos en los supuestos definidos por la norma. La responsabilidad empresarial comienza con la clasificación jurídica correcta de su actividad, de los productos puestos en el mercado y de los materiales afectados. No todos los residuos ni todos los operadores están sujetos al mismo régimen.

La perspectiva de la contabilidad ambiental amplía el análisis regulatorio. Cantillo, Tordecilla-Acevedo, Rosado Orozco, Baron y Altamar Cassiani (2025) examinan la contabilidad ambiental en el sector plástico colombiano mediante información secundaria y revisión de literatura, destacando su potencial para decisiones de gestión y medición. El trabajo no equivale a una auditoría de resultados de una muestra representativa de plantas del Caribe; su aporte consiste en conectar registros ambientales con decisiones estratégicas. Para un fabricante o comercializador, la evidencia pertinente debería distinguir material puesto en el mercado, material efectivamente recuperado, contenido reciclado comprobado, rechazos de transformación y disposición final. Un certificado de recolección no prueba por sí solo que el material haya sustituido materia prima virgen. Tampoco un porcentaje de contenido reciclado informa sobre el desempeño total del envase si no se considera el proceso que lo produjo.

La decisión entre reducción, reutilización y reciclaje no debe resolverse mediante una jerarquía nominal sin condiciones. Un sistema retornable puede ser favorable cuando alcanza suficientes ciclos, existe una tasa adecuada de devolución y la logística de lavado no elimina los beneficios. En cambio, una ruta con alta pérdida de envases, largas distancias o consumo intensivo de agua requiere evaluación específica. La CEPAL (de Miguel et al., 2021) y la literatura de circularidad conceptual (Kirchherr et al., 2017) justifican separar estrategias de prevención de estrategias de tratamiento al final de la vida útil. Para el comercio turístico y de alimentos del Caribe, el diseño de envases también debe considerar higiene, conservación, seguridad alimentaria y estacionalidad de la demanda. La recomendación no es reemplazar indiscriminadamente materiales, sino comparar alternativas con una unidad funcional y un periodo definidos.

Una política corporativa rigurosa debe incorporar controles de atribución. Si varias empresas reclaman el aprovechamiento de la misma tonelada, el indicador agregado sobreestima el resultado. Si se cuenta como material reciclado una corriente enviada a clasificación sin conocer el rechazo posterior, el dato no representa sustitución efectiva. Los anexos de la Resolución 0803 de 2024 prevén información documentada sobre cantidades, actores y procesos; su lectura permite proponer un sistema de conciliación entre registros del productor, gestor y transformador. Esta conciliación debe complementarse con revisión de pérdidas y controles contra doble contabilización. En términos de gobernanza, conviene separar el área que compra el servicio de recuperación de la que valida el resultado. El principio se extiende a otros flujos materiales, aunque las obligaciones legales específicas no puedan trasladarse automáticamente de los envases a cualquier residuo industrial.

BIOECONOMÍA Y VALORIZACIÓN AGROINDUSTRIAL: EL CASO DE MONTES DE MARÍA Y SUS LÍMITES

La bioeconomía regional abre posibilidades de aprovechamiento que van más allá de los residuos urbanos. Jiménez Villalobos, Cuadrado Vega, Osorio Fortich, Cervantes Ceballos, Baena Aristizábal y Mayorca Beltrán (2025) presentaron un modelo de negocio para un bioproducto derivado de residuos de semilla de aguacate en el contexto de Montes de María. La propuesta incorpora diagnóstico participativo, diseño de modelo de negocio y evaluación estratégica preliminar. Su relevancia territorial radica en mostrar una relación posible entre producción agrícola, residuos de cosecha, formulación de productos y nuevos mercados. Sin embargo, el documento consultado corresponde a un resumen académico de congreso y no ofrece evidencia suficiente para afirmar que el modelo haya alcanzado escalamiento comercial, rentabilidad

demostrada o mejoras ambientales cuantificadas. Esta limitación debe quedar explícita para evitar convertir un caso de diseño en un resultado de adopción.

La valorización de biomasa requiere distinguir potencial técnico, viabilidad comercial y beneficio neto. Un residuo orgánico puede tener composición prometedora, pero su aprovechamiento depende de disponibilidad estacional, humedad, conservación, transporte, inocuidad, procesamiento y demanda. La propuesta de Jiménez Villalobos et al. (2025) es útil para formular una ruta de validación: cuantificar la corriente disponible, caracterizarla, identificar aplicaciones compatibles, establecer especificaciones del producto, probar desempeño y estimar costos completos. También debe examinarse si el residuo ya cumple funciones locales, como alimentación animal, mejoramiento de suelos u otros usos; desplazarlo puede crear efectos no deseados. La circularidad no consiste en asignar valor económico a cualquier subproducto, sino en demostrar que el nuevo uso mejora el balance de recursos sin trasladar impactos a otra actividad.

En las cadenas agroalimentarias, las pérdidas pueden producirse en cosecha, selección, almacenamiento, transporte, transformación y comercialización. Cada etapa exige soluciones diferentes: mejor conservación puede evitar el residuo antes de generarse, mientras la transformación de una fracción no comercializable puede crear un insumo secundario. La revisión de Devarti y Nevara (2026) sobre contabilidad verde digital y economía circular en la agroindustria de palma muestra la importancia de vincular procesos tecnológicos con medición de materiales y costos; sus conclusiones proceden de literatura internacional, no de plantaciones del Caribe colombiano. Una aplicación regional debería combinar balances físicos por lote, información de calidad y costos de logística. La decisión entre prevención y valorización dependerá del producto y del destino: evitar la pérdida de alimento suele representar un objetivo distinto de convertir residuos inevitables en energía o fertilizantes.

La participación de productores pequeños introduce desafíos adicionales. La oferta dispersa puede elevar costos de acopio y dificultar la continuidad de un contrato industrial; los requisitos de clasificación pueden exceder capacidades individuales. Rodríguez Galindo (2023), al compilar una propuesta de formación sobre economía circular y negocios verdes en Colombia, destaca la necesidad de integrar modelo de negocio, recursos y planificación. El enfoque formativo puede apoyar emprendimientos agroindustriales, pero debe complementarse con evaluación de mercados, riesgos y capacidades asociativas. En Montes de María, cualquier propuesta de escala territorial requeriría caracterizar organizaciones productoras y cadenas concretas, sin asumir homogeneidad en tenencia de tierra, infraestructura o acceso al financiamiento. La función de una alianza público-privada debería ser reducir costos de coordinación y de prueba, no imponer una tecnología cuya viabilidad aún no ha sido demostrada.

AGUA, ENERGÍA Y MATERIALES: POR QUÉ LA CIRCULARIDAD NO PUEDE EVALUARSE CON UNA SOLA VARIABLE

Las transiciones circulares pueden reducir un impacto y aumentar otro. El reciclaje de materiales puede demandar electricidad y agua; la sustitución de una materia prima puede modificar emisiones del transporte; y un sistema de reutilización puede exigir lavado o esterilización. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Panel Internacional de Recursos (2024) sitúan la extracción y transformación de recursos en el centro de varias presiones ambientales, lo que justifica un enfoque integrado. En el Caribe colombiano, donde coexisten actividades intensivas en agua, energía y transporte, las decisiones empresariales deberían formularse como comparaciones de escenarios, no como declaraciones generales de sostenibilidad. La unidad funcional debe representar el servicio realmente prestado: una tonelada de material apto, mil unidades de producto entregado o un año de funcionamiento de un equipo. Sin esta definición, los indicadores pueden favorecer artificialmente una alternativa.

La Cuenta Satélite Ambiental del DANE (2026) permite establecer un marco estadístico nacional para flujos de agua y residuos. Sus resultados provisionales de 2024 registran una oferta total de residuos sólidos y productos residuales de 33,82 millones de toneladas, cifra nacional que comprende categorías y fuentes distintas. No es correcto interpretarla como la generación de residuos sólidos domiciliarios ni asignar una proporción al Caribe sin información territorial pertinente. La utilidad de esta cuenta para el capítulo es doble: demuestra la necesidad de clasificaciones consistentes y ofrece una referencia para diseñar indicadores empresariales compatibles con estadísticas oficiales. Un balance corporativo debe diferenciar residuos sólidos, productos residuales, materiales enviados a aprovechamiento y materiales efectivamente reincorporados, evitando sumar categorías que no sean equivalentes.

La gestión hídrica requiere distinguir extracción, consumo, recirculación y vertimiento. Una empresa puede elevar su porcentaje de recirculación mientras aumenta la extracción absoluta por crecimiento de producción; otra puede reducir el consumo sin modificar la carga contaminante del efluente. La información del DANE (2026) sobre flujos de agua ofrece un marco de contabilidad ambiental, pero no sustituye la medición de cada instalación. Para un proyecto de reutilización de agua, la evaluación debería identificar calidad requerida, tratamiento, energía consumida, riesgos sanitarios y permisos aplicables. El criterio de desempeño es el ahorro neto de recurso y la reducción de impactos, no el volumen de agua que atraviesa un circuito interno. En la evaluación económica deben incluirse mantenimiento, reposición de membranas o filtros, manejo de lodos y contingencias por interrupción del proceso.

La integración agua-energía-materiales debe reflejarse en decisiones de inversión. Mushtaq et al., (2026) proponen un modelo que conecta productividad verde industrial y circularidad, incorporando capital natural y desempeño ambiental. Se trata de una contribución conceptual cuyo traslado a empresas colombianas requiere operacionalización y datos. Para la gestión regional, la propuesta sugiere que los indicadores de productividad no deberían mejorar solo por trasladar impactos a proveedores o gestores externos. Un tablero empresarial puede comparar costo por unidad funcional, consumo de energía, agua neta, material virgen evitado y residuos finales; también debe registrar incertidumbre de los datos y cambios en el mix de producción. El enfoque permite analizar compensaciones y priorizar proyectos cuya contribución sea robusta bajo diferentes escenarios de precios y disponibilidad de recursos.

CONSTRUCCIÓN, INFRAESTRUCTURA Y MATERIALES SECUNDARIOS: DECISIONES A LO LARGO DE LA VIDA ÚTIL

La construcción concentra flujos materiales heterogéneos, con diferentes posibilidades de reducción, reutilización y recuperación. La discusión no debería comenzar en la demolición, sino en la etapa de diseño: especificaciones, modularidad, mantenimiento, adaptabilidad y posibilidad de desmontaje. Zandee et al. (2026) examinan modelos de producto como servicio en infraestructura y fachadas, mostrando tensiones entre propiedad, valoración de activos, responsabilidades de largo plazo y financiación. Sus casos no corresponden a Colombia, pero ofrecen un marco útil para examinar contratos de infraestructura en el Caribe. La circularidad de un componente depende de quién conserva la responsabilidad de mantenimiento, quién puede recuperarlo y cómo se valora al final de su uso. Sin acuerdos claros, la promesa de recuperación futura puede quedar fuera de los incentivos de quienes toman decisiones iniciales.

Los residuos de construcción y demolición no constituyen una materia prima homogénea. Su potencial depende de separación en origen, presencia de contaminantes, granulometría, resistencia, normas técnicas y distancias de transporte. La incorporación de agregados recuperados en obras exige demostrar desempeño según el uso y cumplir las exigencias aplicables; no basta con que el material sea reciclado. El análisis de Zandee et al. (2026) recuerda que la valoración financiera de activos y los esquemas de contratación pueden favorecer soluciones lineales aunque exista una alternativa técnicamente viable. Para proyectos en municipios caribeños, una decisión prudente compararía prevención de desperdicio en obra, reutilización de elementos, reciclaje de materiales y disposición final con costos completos y riesgos. La selección debe evitar atribuir beneficios climáticos automáticos a la reducción de volumen en relleno.

El llamado pasaporte de materiales puede mejorar la información sobre composición, ubicación y posibilidades de desmontaje, pero solo es útil si los datos se actualizan y permanecen disponibles durante la vida útil del activo. La gobernanza de esos registros plantea preguntas sobre propiedad de la información, cambios de contratistas y responsabilidad por especificaciones incorrectas. Zandee et al. (2026) muestran que la contabilidad y la gobernanza adaptativa son parte de la infraestructura institucional de la circularidad, no un simple reporte posterior. Una propuesta territorial puede comenzar con proyectos piloto en edificaciones e infraestructura pública, definiendo desde la contratación los requisitos de registro y mantenimiento. Su éxito debería evaluarse por material efectivamente recuperado y valor preservado, no solo por la existencia de una plataforma digital o de un certificado de diseño.

La circularidad constructiva también se relaciona con resiliencia climática. Recuperar componentes no es deseable si reduce seguridad estructural o capacidad de respuesta ante amenazas; de igual forma, prolongar la vida de un activo puede exigir inversiones de adaptación. La comparación debe incorporar mantenimiento, sustitución futura y riesgos de interrupción. En territorios portuarios y costeros, el ambiente de exposición y las necesidades de infraestructura

condicionan la duración real de materiales. Los estudios internacionales de Zandee et al. (2026) no aportan coeficientes técnicos para esa exposición; su contribución es advertir que el modelo contractual debe acomodar incertidumbre de largo plazo. Por ello deben distinguirse los argumentos de gobernanza de las comprobaciones técnicas, obtenidas mediante normas de diseño, ensayos y seguimiento local.

SIMBIOSIS INDUSTRIAL Y GOBERNANZA PUERTO-CIUDAD: OPORTUNIDADES SIN AUTOMATISMOS

La simbiosis industrial supone intercambios de materiales, energía, agua o servicios entre organizaciones, pero su viabilidad no depende exclusivamente de la proximidad. De Martino (2022) muestra que las relaciones entre puerto y ciudad están condicionadas por trayectorias institucionales, usos del suelo y arreglos de gobernanza. Este enfoque permite formular una agenda para el Caribe colombiano sin convertir Rotterdam en un modelo universal. Un intercambio de subproductos requiere compatibilidad técnica, volúmenes relativamente estables, responsabilidades de calidad, contratos, seguros y permisos. La ubicación conjunta puede reducir costos de transporte, aunque no garantiza demanda ni beneficios ambientales. Un mapa de oportunidades debe identificar flujos y actores, pero la decisión de inversión exige ensayos de sustitución, evaluación de costos y análisis de riesgos que no pueden derivarse de la cartografía por sí sola.

Los sistemas puerto-ciudad reúnen terminales, industrias, transportadores, municipios y prestadores de servicios con objetivos parcialmente divergentes. La autoridad portuaria puede priorizar continuidad operacional; la industria, calidad del insumo; la ciudad, calidad ambiental y uso del suelo; y los gestores, estabilidad del volumen contratado. La gobernanza debe reconocer esas diferencias en lugar de presuponer una voluntad colectiva de cooperación. De Martino (2022) aporta una perspectiva territorial que invita a estudiar quién puede convocar acuerdos, cómo se distribuyen costos de infraestructura y qué información puede compartirse sin vulnerar confidencialidad comercial. Una mesa de simbiosis debería contar con protocolos para identificar oportunidades, validar materiales, evaluar riesgos y revisar desempeño. Su legitimidad dependerá de incluir a actores afectados, no únicamente a las empresas con mayor capacidad de inversión.

Las cadenas agroindustriales pueden relacionarse con infraestructura portuaria mediante almacenamiento, refrigeración, empaques y transporte. No obstante, el aprovechamiento de una corriente residual de alimentos exige controles sanitarios diferentes de los requeridos para un material de mantenimiento industrial. El enfoque de deMiguel et al. (2021) sobre políticas sectoriales y el de Deviarti y Nevara (2026) sobre trazabilidad agroindustrial permiten establecer una matriz de decisión diferenciada. Para cada intercambio se deben documentar origen, composición, volumen, variación estacional, riesgos, acondicionamiento, receptor y destino final. También conviene registrar qué alternativa se habría utilizado sin el intercambio: si el subproducto ya tenía un aprovechamiento seguro, cambiarlo de destino no equivale automáticamente a crear un beneficio adicional. Esta condición contrafactual es indispensable para medir resultados.

La financiación de infraestructura compartida plantea un problema de acción colectiva. Una planta de tratamiento o una plataforma de clasificación puede ser eficiente a escala de varias empresas, pero ninguna quiere asumir por sí sola el riesgo de capacidad ociosa. Mia, Quintelier y Hordofa (2026) identifican limitaciones y oportunidades en la literatura de financiación circular, con escasa evidencia específica para América Latina. En el Caribe, una solución potencial consiste en contratos de suministro con obligaciones verificables, esquemas escalonados de inversión y mecanismos de reparto de costos. Estas opciones son propuestas, no programas cuya eficacia esté demostrada. El análisis debe incluir escenarios de baja utilización, fallas de calidad y cambios regulatorios. La gobernanza del proyecto debería exigir auditoría de volúmenes y transparencia de tarifas para evitar que la infraestructura compartida reproduzca relaciones asimétricas.

CONTABILIDAD DE FLUJOS Y DECISIÓN EMPRESARIAL: DEL REGISTRO AL COSTO DE OPORTUNIDAD

La contabilidad financiera tradicional suele reconocer el precio de compra de un material y el costo de disposición de sus residuos, pero puede invisibilizar la proporción de insumos que nunca llega a un producto vendible. Aureli, Foschi y Paletta (2025) estudiaron una red de seis empresas vinculadas al desarrollo de una solución de empaque circular y encontraron que las decisiones

dependieron de información de ciclo de vida y de diálogo entre actores, mientras la función contable formal no siempre ocupó el centro del proceso. Su aporte no consiste en afirmar que toda contabilidad convencional sea inútil, sino en mostrar que las decisiones interorganizacionales requieren información física y financiera compartida. En el Caribe colombiano, una empresa que evalúe la recuperación de empaques debería conectar masa, calidad, rechazos, costos de acopio, transporte y valor comercial, en lugar de registrar solamente el ingreso por venta de material residual.

La contabilidad de costos de flujo de materiales permite formular una pregunta diferente: ¿cuánto costó producir lo que finalmente se descartó? La revisión de Deviarti y Nevara (2026) identifica oportunidades para integrar contabilidad verde, registros digitales y flujos de materiales en agroindustrias; Adow (2026) sintetiza investigaciones sobre contabilidad ambiental y adopción circular, señalando que las relaciones observadas dependen de condiciones de gestión y sector. Estas revisiones no ofrecen una tasa universal de retorno de la inversión. Su valor es conceptual y metodológico: muestran que medir residuos como pérdidas de material, energía y procesamiento puede revelar oportunidades distintas de las detectadas al registrar solo tarifas de disposición. Para una pyme, la implementación puede comenzar con una familia de productos y expandirse cuando el beneficio de información supere el costo de registro.

La información debe permitir decisiones alternativas, no solo construir informes retrospectivos. Supóngase una empresa que registra una merma significativa en el corte de materiales. Las opciones pueden ser rediseñar piezas, modificar programación de máquinas, recuperar recortes, negociar devolución al proveedor o comercializar subproductos. Cada alternativa tiene inversiones, riesgos y tiempos diferentes. El enfoque de Aureli et al. (2025) sugiere involucrar producción, compras, comercial y contabilidad en la comparación; el de Reyes Maldonado et al. (2024) recomienda indicadores consistentes con la actividad industrial. La evaluación debería registrar costo evitado, inversión, capacidad requerida y efectos ambientales medibles. No se debe presentar un ahorro hipotético como resultado observado. La decisión será más sólida cuando incluya pruebas piloto y sensibilidad a precios, rendimientos y tasas de rechazo.

La transparencia de costos requiere reconocer efectos fuera de la empresa. Si una organización reduce su factura de disposición al trasladar residuos a un gestor que opera sin controles adecuados, su resultado financiero mejora mientras el impacto social puede empeorar. La contabilidad socioambiental discutida por Vargas González et al. (2024) y Cantillo et al. (2025) permite formular exigencias de evidencia sobre destino, tratamiento y responsabilidad. El análisis debe diferenciar costo privado, costo contractual y efecto ambiental, sin asignar valores monetarios arbitrarios a externalidades. Cuando la monetización sea incierta, es preferible presentar indicadores físicos y un análisis cualitativo transparente. Esta separación protege el rigor del capítulo y evita que un valor financiero agregado oculte impactos que requieren decisiones regulatorias o de derechos.

DIGITALIZACIÓN, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y TRAZABILIDAD: CAPACIDADES ANTES QUE PLATAFORMAS

La digitalización puede mejorar la visibilidad de materiales y contratos, pero también introducir costos y dependencias tecnológicas. Chen y Li (2026), con evidencia de empresas manufactureras chinas analizada mediante PLS-SEM, relacionan capacidades dinámicas sostenibles, inteligencia artificial e innovación de modelos de negocio circulares. El estudio identifica asociaciones relevantes dentro de su muestra; no demuestra que instalar una herramienta de inteligencia artificial produzca por sí solo circularidad en una empresa colombiana. La interpretación útil para el Caribe consiste en reconocer la secuencia organizacional: primero definir problemas, datos y responsables; después construir capacidades de análisis; finalmente evaluar soluciones tecnológicas. Un sistema sofisticado que recibe datos incompletos de residuos puede producir indicadores precisos en apariencia pero materialmente incorrectos. La calidad del registro sigue siendo una condición previa.

Liu y Tian (2026) analizan cómo la inteligencia artificial generativa puede relacionarse con búsqueda de conocimiento y dependencias entre empresas de cadenas circulares, usando información de organizaciones chinas. Sus resultados sugieren que las herramientas de información pueden facilitar coordinación, pero la dependencia asimétrica de proveedores y compradores sigue siendo un problema de gobernanza. En cadenas del Caribe colombiano, la trazabilidad digital debe permitir que empresas pequeñas documenten cantidades y calidad sin perder control sobre datos comerciales sensibles. La decisión sobre plataformas compartidas

requiere reglas de acceso, validación, interoperabilidad y corrección de errores. Una plataforma no sustituye contratos ni certificaciones, y la automatización no elimina la obligación de verificar que el material declarado haya sido efectivamente tratado o reincorporado.

Los sistemas digitales pueden operar en distintos niveles de madurez. Una hoja de cálculo con identificadores únicos de lote y soportes documentales puede ser suficiente para un piloto; un sistema integrado puede ser necesario cuando aumentan actores, frecuencia de transacciones y obligaciones de reporte. Deviarti y Nevara (2026) discuten posibilidades de tecnologías de monitoreo y contabilidad verde en agroindustrias, pero no prueban que blockchain o inteligencia artificial sean superiores en todos los casos. Para seleccionar tecnología conviene comparar costo total, posibilidad de auditoría, disponibilidad de personal, seguridad de datos y facilidad de integración. La adopción gradual permite identificar errores de clasificación antes de escalar. El indicador principal no debe ser número de sensores instalados, sino reducción de discrepancias y disponibilidad de evidencia confiable para decisiones.

El gobierno de datos constituye una condición de inclusión. Si una empresa grande exige reportes complejos sin financiar asistencia a sus proveedores, puede excluir a actores pequeños y concentrar el mercado de materiales secundarios. Los hallazgos sobre dependencia de Liu y Tian (2026) permiten formular una advertencia: compartir información puede mejorar coordinación y al mismo tiempo alterar poder de negociación. Una arquitectura territorial debería distinguir datos públicos agregados, datos comerciales confidenciales y evidencias disponibles para auditoría. La verificación de flujos puede realizarse con identificadores y documentos sin publicar precios ni secretos industriales. La solución institucional debe establecer derechos de corrección, responsabilidades por errores y mecanismos de resolución de controversias. La transformación digital solo es sostenible si mejora el funcionamiento de la cadena sin desplazar injustificadamente a sus participantes.

FINANCIACIÓN CIRCULAR Y DISEÑO DE INSTRUMENTOS PARA EMPRESAS DE DISTINTA ESCALA

Las inversiones circulares tienen perfiles financieros heterogéneos. Una mejora de proceso puede reducir desperdicios con una inversión pequeña y retorno relativamente rápido; una planta de clasificación requiere escala y contratos de suministro; un modelo de producto como servicio puede desplazar ingresos desde la venta inicial hacia pagos distribuidos durante años. Mia et al. (2026) revisan la literatura de financiación circular y subrayan la concentración de estudios en determinados contextos, lo que limita extrapolaciones. La consecuencia para el Caribe colombiano es que no existe un instrumento financiero único para toda la transición. El diseño debe partir del flujo de caja del proyecto, la distribución de riesgos, la vida útil de activos y la capacidad de demostrar resultados. Un préstamo verde no es necesariamente adecuado para un proyecto cuya recuperación depende de contratos de largo plazo o de precios volátiles de materiales secundarios.

Los contratos de compra futura pueden reducir incertidumbre de demanda, pero también trasladar riesgos de calidad y precio al proveedor. En un esquema de recuperación de envases, por ejemplo, la entidad que financia la infraestructura necesita estimar cantidades recuperables y pérdidas de clasificación; el comprador del material secundario necesita especificaciones estables; y el gestor requiere liquidez para operación diaria. El enfoque de Aureli et al. (2025) sobre redes de valor y el de Zandee et al. (2026) sobre activos circulares muestran que los arreglos contractuales condicionan las decisiones. Una evaluación financiera debe incorporar escenarios de incumplimiento, capacidad ociosa y sustitución tecnológica. También debe evitar financiar inversiones cuya rentabilidad dependa de contabilizar dos veces un mismo beneficio ambiental o de asumir precios constantes sin justificación.

Las pequeñas empresas suelen enfrentar costos fijos relativamente altos para diagnosticar, certificar y demostrar resultados. Rodríguez Galindo (2023) ofrece un enfoque formativo para estructurar negocios verdes, mientras Mia et al. (2026) evidencian vacíos de investigación sobre financiación circular fuera de mercados más estudiados. Una política regional podría combinar asistencia técnica, instrumentos de garantía, contratos piloto y compras con criterios verificables. Esta combinación es una propuesta de política que requiere evaluación, no un programa ya implementado con resultados probados. El indicador de éxito no debería limitarse a número de créditos o valor desembolsado: también se requieren continuidad operativa, capacidad de pago, material sustituido, ahorro neto y empleo digno. La financiación debe apoyar una transformación real del proceso productivo, no solamente mejorar la clasificación comercial de una cartera.

El riesgo de lavado verde exige separar elegibilidad financiera y desempeño ambiental. Un proyecto puede cumplir criterios iniciales de financiación y no alcanzar los resultados esperados por fallas técnicas o cambios del mercado. La literatura de Mia et al. (2026) y las orientaciones de medición de ISO 59004:2024 justifican un seguimiento durante la ejecución, con línea base, hitos y verificación. La entidad financiera puede requerir información proporcional al tamaño del proyecto y permitir ajustes documentados cuando cambien las condiciones. No conviene imponer el mismo costo de auditoría a una microempresa y a una planta industrial. El diseño de instrumentos debe equilibrar integridad ambiental y acceso, evitando que la verificación sea tan onerosa que impida la participación de quienes más necesitan apoyo para transformar procesos.

MODELOS DE NEGOCIO CIRCULARES: REPARAR, REUTILIZAR, REMANUFACTURAR Y PRESTAR SERVICIOS

El valor económico de la circularidad depende de la capacidad de preservar utilidad, no exclusivamente de comercializar residuos. Un modelo de reparación prolonga la vida de un equipo; la remanufactura recupera componentes con especificaciones de desempeño; un servicio de uso puede mantener la propiedad del activo en el proveedor y modificar incentivos de mantenimiento. Rodríguez Galindo (2023) presenta herramientas de diseño empresarial útiles para formular propuestas de valor, recursos y costos; Zandee et al. (2026) muestran las complejidades de propiedad y responsabilidad en modelos de infraestructura como servicio. La aplicación regional requiere identificar el producto o activo, la frecuencia de uso, el costo de mantenimiento, la capacidad de reparación y la disponibilidad de repuestos. Una solución circular debe competir por calidad y confiabilidad, no únicamente por su promesa ambiental.

La reparación y la remanufactura pueden generar empleo especializado, pero sus beneficios dependen de formación, estándares y acceso a información técnica. En equipos industriales y logísticos, la prolongación de vida debe respetar requisitos de seguridad y confiabilidad; no sería sostenible mantener indefinidamente un activo cuya operación genera impactos excesivos. La decisión requiere comparar reparación, actualización y reemplazo bajo una misma unidad funcional. El enfoque de Geissdoerfer et al. (2017) sobre relaciones entre circularidad y sostenibilidad y el de Mushtaq et al. (2026) sobre productividad verde permiten reconocer posibles compensaciones. Una empresa del Caribe podría evaluar un programa de mantenimiento y recuperación de componentes mediante registros de fallas, horas de operación, consumo energético y materiales sustituidos. Sin esos datos, el ahorro material no puede inferirse solo del número de equipos reparados. Los modelos de servicio requieren contratos que distribuyan responsabilidades durante el ciclo de vida. Si el proveedor conserva propiedad y mantenimiento, puede tener incentivos para diseñar productos durables; sin embargo, también asume riesgos de uso indebido, obsolescencia y recuperación.

Zandee et al. (2026) muestran que los sistemas contables y financieros tradicionales pueden enfrentar dificultades para valorar esos compromisos. Una implementación regional debería especificar indicadores de disponibilidad, mantenimiento, recuperación y disposición final, además de obligaciones de información entre las partes. El modelo debe considerar la capacidad de pago del cliente y la posibilidad de interrupción del servicio. No se puede afirmar que la servitización siempre reduzca consumo: si abarata el acceso y eleva la frecuencia de uso, pueden aparecer efectos de rebote.

La evaluación de modelos de negocio debe incorporar clientes, proveedores y gestores desde el diseño. Aureli et al. (2025) observan que las soluciones circulares pueden requerir redes de valor y deliberación entre actores con métricas diferentes. Esta perspectiva es especialmente pertinente para organizaciones pequeñas que no controlan todas las etapas del producto. Una alianza comercial puede facilitar devolución y recuperación, pero necesita reglas sobre calidad, propiedad de materiales y reparto de costos. Se propone una secuencia de validación: definir el servicio, identificar actores y flujos, elaborar escenarios financieros, probar desempeño, medir impactos y revisar el contrato. Cada fase debe producir evidencia antes de avanzar a la siguiente. El propósito es evitar que un modelo atractivo en un lienzo de negocios se convierta en una inversión sin demanda o sin capacidad operativa.

TRABAJO, INCLUSIÓN Y GOBERNANZA: LA DIMENSIÓN SOCIAL QUE SUELE QUEDAR FUERA DE LA CIRCULARIDAD

La transición circular puede crear oportunidades laborales y modificar ocupaciones existentes, pero sus efectos distributivos no son automáticos. De Miguel et al. (2021) sitúan el empleo y la estructura del sector residuos entre las dimensiones de política regional. La recuperación de materiales puede implicar clasificación, transporte, tratamiento y comercialización, con condiciones laborales muy distintas. Un indicador de toneladas aprovechadas no informa sobre remuneración, estabilidad contractual, seguridad y participación en el valor. Para el Caribe colombiano, la evaluación debería registrar si los programas fortalecen capacidades de organizaciones locales o desplazan actividades sin alternativas. La inclusión no se demuestra mediante una fotografía de capacitación: exige seguimiento de ingresos, contratos, protección y participación real en decisiones. Tampoco es correcto inferir condiciones laborales de todos los gestores a partir de casos aislados.

La gobernanza de una cadena circular implica resolver conflictos entre eficiencia y distribución. Un comprador puede preferir un único proveedor de gran escala por menores costos de transacción, mientras la política territorial puede buscar participación de unidades pequeñas. La respuesta no debería consistir en ignorar calidad ni imponer participación nominal, sino en diseñar mecanismos que reduzcan barreras de entrada sin sacrificar seguridad. El enfoque de Liu y Tian (2026) sobre dependencias entre empresas y el de deMiguel et al. (2021) sobre políticas productivas ofrecen una base para discutir acuerdos transparentes, estándares compartidos y asistencia técnica. La evaluación debe distinguir costos legítimos de cumplimiento y barreras desproporcionadas. Los resultados distributivos deberían examinarse con datos desagregados por tamaño empresarial y posición en la cadena.

La formación ambiental y financiera es necesaria, pero insuficiente cuando faltan infraestructura y mercado. Rodríguez Galindo (2023) proporciona instrumentos pedagógicos para estructurar emprendimientos verdes; el estudio de Celis Murcia, Sandoval Barragán y Valencia Rivera (2025) sobre contabilidad ambiental en el sector arrocero del Huila identifica barreras de conocimiento y apoyo institucional en un contexto colombiano diferente del Caribe. Este último caso sirve como contraste nacional, no como evidencia directa sobre productores caribeños. La comparación sugiere que la capacitación debe acompañarse de asistencia aplicada, acceso a información y acuerdos comerciales. Una política que forme emprendedores sin resolver condiciones de compra, logística y financiación puede aumentar expectativas sin generar operaciones sostenibles. El diseño territorial debe comprobar las restricciones de cada cadena antes de seleccionar instrumentos. La participación comunitaria es relevante cuando las decisiones afectan rutas de transporte, almacenamiento de residuos, calidad ambiental o uso del suelo. De Martino (2022) muestra que las relaciones puerto-ciudad no son meramente técnicas; implican identidad territorial y arreglos de gobernanza.

En el Caribe colombiano, un proyecto de tratamiento o intercambio de materiales debería incluir información pública sobre riesgos y mecanismos de seguimiento, preservando datos comerciales confidenciales cuando corresponda. La legitimidad no puede reducirse a cumplir un trámite participativo: requiere que observaciones sustantivas puedan modificar el diseño. La evaluación social debería identificar beneficiarios, posibles perjudicados y mecanismos de reparación de impactos. La circularidad compatible con la Agenda 2030 no consiste en trasladar cargas ambientales a barrios o grupos con menor capacidad de oposición.

EVALUACIÓN AMBIENTAL: LÍNEA BASE, UNIDAD FUNCIONAL, CONTRAFCTUAL Y EFECTOS DE REBOTE

Una intervención circular solo puede calificarse como mejora ambiental cuando se compara con una alternativa explícita. El análisis de ciclo de vida proporciona un marco para examinar impactos desde la obtención de materiales hasta el uso y destino final, pero sus resultados dependen de límites, inventarios y supuestos. Geissdoerfer et al. (2017) advierten que circularidad y sostenibilidad no son conceptos equivalentes; el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024) muestra la importancia de considerar impactos asociados al uso de recursos. En una evaluación empresarial se debe definir qué servicio presta el producto, cuál es el escenario de referencia y qué procesos cambian realmente. Una afirmación de ahorro de carbono basada solo en toneladas recuperadas es incompleta si no identifica energía de reprocesamiento, transporte y sustitución efectiva de producción primaria.

La línea base debe construirse antes de la intervención y mantenerse trazable. Una empresa que modifica simultáneamente tecnología, mezcla de productos y volumen de producción no puede atribuir toda la variación de residuos a un programa circular. El estudio de Reyes Maldonado et al. (2024) ilustra la importancia de comparar indicadores por sector y características organizacionales; su diseño exploratorio no autoriza a inferir causalidad general. Para programas regionales se proponen series de tiempo, comparación entre unidades semejantes cuando sea viable y documentación de cambios externos. Si no existe un contrafactual robusto, deben presentarse resultados descriptivos y limitaciones, sin emplear lenguaje causal. La integridad de la evidencia es especialmente importante cuando los indicadores determinan incentivos financieros o reputacionales.

Los efectos de rebote surgen cuando una mejora de eficiencia reduce costos y favorece un aumento de actividad que compensa parte del ahorro inicial. Una empresa puede disminuir material por unidad y elevar su consumo total al expandir ventas. Kirchherr et al. (2017) y Geissdoerfer et al. (2017) aportan fundamentos para distinguir eficiencia local de transformación sistémica. La evaluación debe registrar tanto intensidad como magnitudes absolutas y, cuando sea posible, efectos en otros eslabones. En modelos de reutilización, por ejemplo, conviene medir número real de ciclos y tasa de pérdida; en remanufactura, desempeño y vida útil adicional; en recuperación, sustitución neta de material virgen. Los indicadores de actividad —número de talleres, campañas o toneladas recogidas— no reemplazan indicadores de resultado.

La incertidumbre debe declararse y analizarse, no ocultarse mediante cifras puntuales. Los factores de emisión, rendimientos de reciclaje y distancias de transporte pueden variar; los datos de proveedores pueden ser incompletos. Una evaluación prudente presentará rangos, supuestos y escenarios de sensibilidad. Mushtaq et al. (2026) proponen vincular productividad industrial con dimensiones ambientales; su enfoque puede orientar la selección de variables, pero requiere validación empírica. Para proyectos del Caribe, la incertidumbre de abastecimiento estacional y de mercados secundarios puede ser tan importante como la incertidumbre tecnológica. El informe debe separar datos medidos, estimaciones documentadas y escenarios hipotéticos. Esa clasificación permite tomar decisiones sin atribuir al territorio resultados que todavía no se han observado.

SISTEMA DE INDICADORES Y TRAZABILIDAD PARA ORGANIZACIONES DEL CARIBE COLOMBIANO

La medición propuesta distingue cinco planos: entradas de recursos, eficiencia de procesos, circularidad de productos, impactos ambientales y resultados socioeconómicos. En el primero se registran masas de insumos vírgenes y secundarios; en el segundo, mermas, energía y agua por unidad funcional; en el tercero, durabilidad, retornabilidad y recuperación comprobada; en el cuarto, emisiones y residuos finales; en el quinto, costos, empleo y distribución de valor. La selección se fundamenta en ISO 59004:2024, en la discusión conceptual de Kirchherr et al. (2017) y en los indicadores de ecoeficiencia analizados por Reyes Maldonado et al. (2024). Ningún indicador aislado resume sostenibilidad. Para evitar agregaciones engañosas, cada medida debe conservar su unidad, periodo, fuente, responsable y nivel de incertidumbre. Las comparaciones deben hacerse entre actividades compatibles o acompañarse de ajustes explícitos.

La trazabilidad debe permitir reconstruir el recorrido de una corriente material desde su generación hasta el destino comprobado. Los registros de productores, gestores y transformadores deben conciliarse, especialmente cuando existen metas regulatorias. La Resolución 0803 de 2024 y el estudio de Cantillo et al. (2025) permiten justificar la conexión entre documentación de materiales y contabilidad ambiental. Una empresa debería asignar identificadores a lotes o movimientos relevantes, registrar pesos de entrada y salida, documentar rechazos y conservar soportes del tratamiento. Cuando se empleen estimaciones, debe indicarse el método. La tasa de recuperación no debe calcularse usando únicamente la masa entregada a un gestor si se desconoce qué parte terminó en disposición final. Este control es una recomendación de gestión basada en fuentes, no una auditoría de prácticas empresariales actuales.

El diseño de indicadores debe ser proporcional a la escala organizacional. Una microempresa puede empezar con cinco medidas verificables; una industria regulada puede necesitar un sistema más amplio y conciliación con sus obligaciones de reporte. La revisión de Adow (2026) muestra que la relación entre contabilidad ambiental y adopción circular está condicionada por factores organizacionales; la de Deviarti y Nevara (2026) destaca oportunidades de integración digital. La recomendación es establecer un núcleo mínimo común para comparabilidad y

módulos sectoriales para profundidad. En turismo, por ejemplo, el empaque y el consumo de agua pueden ser prioritarios; en agroindustria, pérdidas de biomasa y energía; en construcción, material recuperado y vida útil; en puertos, residuos operativos y acuerdos con gestores.

No corresponde comparar directamente esos sectores mediante una sola puntuación. La calidad del dato debe tener un sistema de control independiente de la producción del indicador. Se propone revisar consistencia temporal, integridad documental, conciliación de masas, cambios de metodología y riesgos de doble conteo. La Cuenta Satélite Ambiental del DANE (2026) demuestra la importancia de clasificaciones estables para construir balances nacionales, aunque sus cifras no sustituyen registros empresariales. La información corporativa debería permitir agregación territorial solo cuando se cumplan criterios de representatividad y cobertura; sumar empresas participantes en un programa voluntario no produce automáticamente un diagnóstico regional. La transparencia sobre empresas incluidas, periodos y límites de medición es indispensable para que una futura publicación pueda distinguir evidencia observada de una propuesta conceptual.

HOJA DE RUTA DE IMPLEMENTACIÓN: SECUENCIA, CAPACIDADES Y CRITERIOS DE CIERRE

La primera fase de una estrategia circular debe ser diagnóstica. Se identifican flujos materiales relevantes, procesos con pérdidas, obligaciones regulatorias, proveedores y posibles compradores de materiales secundarios. La Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia (2019) y la CEPAL (de Miguel et al., 2021) ofrecen orientaciones generales, pero la selección de proyectos exige evidencia local. Una organización debería construir una línea base con al menos un periodo representativo de operación, documentando estacionalidad cuando corresponda. El resultado de esta fase no es una certificación de circularidad, sino una cartera preliminar de oportunidades con datos suficientes para priorizar. Las iniciativas sin disponibilidad de material, demanda o viabilidad regulatoria deben descartarse o mantenerse como hipótesis de investigación.

La segunda fase consiste en diseñar y probar alternativas. Para cada oportunidad se definen unidad funcional, inversión, operación, responsable, riesgos, indicadores y condiciones de abandono. Las experiencias analizadas por Aureli et al. (2025) y Zandee et al. (2026) muestran que las redes de actores y los contratos importan tanto como la tecnología. Por ello, un piloto debería incluir acuerdos de calidad, suministro y tratamiento final, así como mecanismos de revisión. La prueba debe producir información sobre rendimientos reales y costos completos. Si un material recuperado no alcanza las especificaciones, el resultado debe registrarse como aprendizaje y no presentarse como aprovechamiento exitoso. La disciplina de prueba reduce el riesgo de escalar proyectos motivados únicamente por metas de comunicación corporativa.

La tercera fase es la integración a la gestión empresarial. Los proyectos que superen pruebas deben incorporarse a presupuestos, compras, mantenimiento, capacitación y seguimiento. Reyes Maldonado et al. (2024) y Vargas González et al. (2024) respaldan la necesidad de vincular indicadores ambientales con sistemas de información organizacional. Un programa circular no debería depender indefinidamente de un equipo externo o de una campaña temporal. La dirección debe asignar responsabilidades, revisar resultados y corregir incentivos que favorezcan desperdicio. También debe establecer procedimientos de continuidad ante cambios de personal o proveedores. La sostenibilidad institucional se mide por la permanencia de decisiones y registros, no solo por la existencia de un documento estratégico.

La cuarta fase es la evaluación y eventual ampliación territorial. Antes de replicar una intervención, deben compararse resultados con la línea base y revisar riesgos de rebote, exclusión y desplazamiento de impactos. La literatura de Mia et al. (2026) y la CEPAL (de Miguel et al., 2021) sugieren que financiación y política productiva deben acompañar la expansión, pero no permiten asegurar su éxito. La decisión de escalar debería exigir evidencia suficiente de desempeño ambiental, continuidad comercial y condiciones laborales. Para una alianza territorial, conviene definir quién valida los datos y cómo se distribuyen los costos de seguimiento. Los proyectos que no cumplan criterios deben ajustarse o cerrarse; mantenerlos por razones reputacionales compromete la credibilidad del programa.

DISCUSIÓN INTEGRADORA: LÍMITES DE LA EVIDENCIA Y CONTRIBUCIÓN A LA AGENDA 2030

El conjunto de fuentes permite sostener que la circularidad empresarial es una transformación simultánea de flujos, contratos, capacidades y sistemas de información. La CEPAL

(de Miguel et al., 2021) aporta el marco regional de política; Reyes Maldonado et al. (2024) y Vargas González et al. (2024) muestran problemas de medición en el contexto colombiano; Aureli et al. (2025) y Zandee et al. (2026) explican tensiones contables y contractuales; Mia et al. (2026) señala vacíos de financiación. La convergencia no implica que todas las investigaciones midan el mismo fenómeno. Algunas son estudios empíricos, otras revisiones o propuestas normativas, y sus resultados no deben sumarse como si constituyeran una encuesta regional. La contribución de este capítulo es ordenar las condiciones bajo las cuales una iniciativa puede formularse, probarse y evaluarse con rigor.

La evidencia localizada en el Caribe colombiano sigue siendo desigual. El trabajo de Vargas et al. (2024) se sitúa en empresas industriales de Barranquilla; el resumen de Jiménez Villalobos et al. (2025) aborda una oportunidad de valorización agroindustrial en Montes de María; Cantillo et al. (2025) analiza el sector plástico colombiano con participación de investigadores de Cartagena. Estos documentos permiten formular problemas relevantes, pero no estimar prevalencias de circularidad en todos los departamentos caribeños. La información nacional del DANE (2026) aporta contexto estadístico sin resolver esa limitación. Una agenda futura debe seleccionar cadenas, empresas y municipios con criterios transparentes, levantar balances materiales y documentar la heterogeneidad territorial. Las generalizaciones deberán basarse en diseños y datos apropiados, no en la acumulación de estudios de caso.

La articulación con los demás capítulos del libro es sustantiva. El capítulo sobre formalización aborda las condiciones para participar en cadenas reguladas; el de finanzas sostenibles examina acceso a recursos y riesgos; el de logística sostenible estudia transporte, devoluciones y redes; el de innovación tecnológica aporta capacidades de adopción; y los capítulos de talento humano y gobernanza analizan trabajo y responsabilidad. La economía circular cruza esas dimensiones, pero no las reemplaza. Una empresa puede disponer de tecnología y carecer de contratos; obtener financiación y no medir resultados; cumplir una obligación legal y mantener pérdidas de materiales elevadas. La discusión de Chen y Li (2026) sobre capacidades organizacionales y la de Liu y Tian (2026) sobre coordinación digital refuerzan la necesidad de analizar combinaciones de condiciones, sin convertir asociaciones estadísticas externas en relaciones causales locales.

El vínculo con la Agenda 2030 debe explicitar contribuciones y tensiones. El objetivo 12 se relaciona directamente con uso responsable de materiales, pero los proyectos también pueden incidir en agua, energía, trabajo, innovación y ciudades. No toda contribución es positiva: una instalación de recuperación puede reducir residuos y generar conflictos por transporte o emisiones locales; un programa de sustitución puede afectar empleo en actividades existentes. El enfoque de sostenibilidad de Geissdoerfer et al. (2017) y la perspectiva de recursos del PNUMA (2024) exigen evaluar impactos cruzados. La recomendación final es presentar resultados desagregados por dimensión, reconocer incertidumbre y evitar una puntuación única que compense daños relevantes con beneficios no comparables. La circularidad responsable se demuestra con evidencia de cambios materiales y sociales, no mediante su declaración.

CONTABILIDAD AMBIENTAL COMO INFRAESTRUCTURA DE DECISIONES, NO COMO INFORME DECORATIVO

La contabilidad ambiental adquiere relevancia estratégica cuando transforma registros físicos y monetarios en decisiones operativas susceptibles de contrastación. No basta con abrir una cuenta de gastos ambientales ni con estimar el volumen anual de residuos: una organización necesita identificar los centros de costo donde se originan pérdidas de materia, energía y agua, establecer responsables de captura de datos y comparar alternativas con una unidad funcional estable. La revisión de Mukwarami y van derPoll (2024b), orientada a gobiernos locales de economías en desarrollo, reconoce el papel de la contabilidad de energía, agua, materiales, carbono y biodiversidad para mejorar la gestión de servicios. Su objeto institucional difiere del de una empresa manufacturera; sin embargo, permite advertir que la gestión circular exige articulación entre quienes generan, miden, financian y regulan los flujos. En las ciudades del Caribe colombiano, esta articulación es particularmente importante cuando los residuos industriales terminan dependiendo de infraestructuras municipales y operadores privados que utilizan clasificaciones y periodos de reporte diferentes.

La transferencia de estas herramientas hacia las mipymes no es automática. Mukwarami y van derPoll (2024a) sistematizan barreras de adopción de la contabilidad de gestión ambiental en pequeñas y medianas empresas, entre ellas limitaciones de conocimiento, recursos y condiciones institucionales. Nguyen (2024), a partir de una encuesta a 330 empresas vietnamitas, identifica

asociaciones entre la intención de adoptar tales prácticas y factores como actitudes ambientales, beneficios percibidos, presión social, capacidad de control y mezcla de políticas. Ambas investigaciones aportan mecanismos plausibles, pero no prueban que una misma combinación de incentivos produzca idénticos resultados en Barranquilla, Cartagena, Santa Marta o Montería. Una propuesta territorial prudente consistiría en iniciar con pocos flujos materiales críticos, documentación de compras y salidas, y una conciliación periódica entre cantidades físicas y registros contables, antes de exigir sistemas sofisticados de reporte.

El nexo entre información y desempeño tampoco debe tratarse como causalidad inmediata. Asa'd et al. (2024) examinan el papel mediador de la calidad de las decisiones ambientales en la relación entre información contable y desempeño organizacional. Este hallazgo orienta una hipótesis de trabajo: el dato produce valor cuando modifica decisiones de mantenimiento, compras, diseño, almacenamiento o tratamiento, no por el mero hecho de existir. Sisaye y Birnberg (2025), al estudiar la evolución de la contabilidad de sostenibilidad en Estados Unidos, muestran además la tensión entre marcos de reporte y la diversidad de información económica, social y ecológica que las organizaciones pretenden representar. Por tanto, en el Caribe colombiano conviene separar tres productos: información para cumplir obligaciones, información para mejorar procesos e información para demostrar impactos ante terceros. Sus objetivos se relacionan, pero sus métodos de verificación no son intercambiables.

ESTRATEGIA AMBIENTAL, LIDERAZGO Y DESEMPEÑO: INTERPRETAR LA EVIDENCIA SIN EXTRAPOLACIONES

La literatura empírica reciente converge en la importancia de combinar estrategia, capacidades y mecanismos de gestión, aunque no permite convertir cada asociación estadística en una regla universal. Khanh et al. (2024) analizaron 198 empresas manufactureras vietnamitas mediante modelos de ecuaciones estructurales y reportaron relaciones positivas entre estrategia ambiental, uso de contabilidad de gestión ambiental y resultados ambientales y financieros. Hasan et al. (2024), con datos de 299 mipymes manufactureras de Yemen, encontraron un papel mediador parcial de la innovación verde en la relación entre contabilidad ambiental y desempeño ecológico. Estos diseños transversales proporcionan evidencia sobre relaciones entre constructos, pero no sustituyen una evaluación longitudinal de inversiones, costos de transición y resultados materiales. El papel del liderazgo merece una lectura igualmente condicionada. Liem (2025), en una muestra de 198 directivos manufactureros vietnamitas, estudia el liderazgo transformacional verde, los sistemas de recompensas, la estrategia ambiental proactiva y la contabilidad de gestión ambiental como componentes relacionados con el desempeño.

El interés de este aporte para las organizaciones del Caribe no consiste en importar un modelo de liderazgo, sino en reconocer que un proyecto circular puede fracasar aunque existan equipos y presupuesto si las metas operativas premian exclusivamente volumen producido, velocidad de despacho o reducción inmediata del costo unitario. La gobernanza debe resolver tensiones explícitas entre metas de producción, calidad, seguridad y recuperación de materiales, y asignar responsabilidades verificables a compras, mantenimiento, operaciones, talento humano y finanzas.

La investigación de Ardini y Fahlevi (2024) sobre contabilidad ambiental, cadenas de suministro verdes y regulación de importaciones introduce una precaución adicional: la circularidad de una firma depende también de relaciones externas y condiciones regulatorias, no solo de decisiones internas. Aunque el título del estudio se refiere a la industria del reciclaje de plásticos de Indonesia, el resumen informa una muestra de directivos de equipamiento sanitario; esta discrepancia en la delimitación sectorial aconseja utilizar el artículo únicamente como apoyo comparativo de los vínculos propuestos y no como prueba específica sobre recicladores de plástico. Para el Caribe colombiano, la conclusión metodológica es clara: la evaluación de una iniciativa debe registrar tipo de empresa, sector, tamaño, formalidad, cadena de suministro y horizonte de observación antes de atribuirle resultados a la economía circular.

MATERIALES SECUNDARIOS: CALIDAD TÉCNICA, COSTOS Y RIESGOS DE DESPLAZAMIENTO

La sustitución de insumos vírgenes por materiales secundarios es uno de los mecanismos más visibles de la economía circular, pero exige comprobaciones técnicas y económicas que suelen desaparecer en las narrativas promocionales. Wang et al. (2021) revisan el uso de

agregados reciclados y concreto con agregados reciclados, destacando diferencias en porosidad, propiedades mecánicas, durabilidad y métodos de mejora del material. La lección para el sector constructor del Caribe colombiano no es que todo residuo de demolición deba convertirse en agregado estructural, sino que su reutilización requiere trazabilidad del origen, clasificación, ensayos, especificaciones de desempeño y evaluación del uso previsto. El destino de un material recuperado debe corresponder a su calidad demostrada y a las exigencias técnicas aplicables, especialmente en ambientes costeros donde la exposición a humedad y agentes agresivos puede elevar los riesgos de deterioro.

Los costos ambientales deben desagregarse por etapa productiva. Pak, Kaya y Utku (2024) examinan una empresa textil turca y muestran que el peso de los costos ambientales varía entre operaciones como hilatura, tintura, confección y acabado; el resultado es específico de ese caso y no constituye una tasa de referencia para Colombia. Su contribución consiste en evidenciar por qué un promedio corporativo puede ocultar procesos críticos. En industrias de confecciones, alimentos, empaques y transformación de plásticos del Caribe, el diagnóstico debería localizar consumo hídrico, energía, rechazos, materiales auxiliares, pérdidas de calidad y tratamiento final por operación. Con esta desagregación se pueden comparar alternativas de prevención, rediseño y recuperación sin atribuir beneficios a una actividad de reciclaje que, en el balance completo, incrementa el consumo energético o genere productos de menor vida útil.

La reutilización creativa también plantea una frontera entre valor social y desempeño ambiental. Shakra et al. (2026) documentan intervenciones de diseño y aprovechamiento de materiales en espacios educativos, lo que muestra posibilidades de valorización fuera de procesos industriales convencionales. No obstante, la utilidad funcional, el transporte y la permanencia del nuevo producto deben evaluarse antes de considerar ambientalmente preferible una intervención. En el Caribe colombiano, las iniciativas de aprovechamiento de mobiliario, madera, envases o textiles podrían articularse con emprendimientos culturales y formación técnica, siempre que se documenten costos de acondicionamiento, estándares de seguridad y destinos posteriores. Una solución circular no se acredita por la procedencia reciclada del insumo, sino por la comparación demostrable de su ciclo de vida con alternativas plausibles.

COMPARABILIDAD DE INDICADORES: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA, ESCENARIOS E INCERTIDUMBRE

La evaluación de la circularidad debe diferenciar entre inventariar flujos y estimar impactos. Abad et al. (2026) comparan metodologías para estimar emisiones de alcance 3 asociadas a residuos en una universidad y encuentran que las decisiones de modelación importan para la interpretación de los resultados. Este hallazgo no se traslada como un factor de emisión al Caribe, pero justifica registrar método, límites del sistema, fuente de datos, tratamiento de materiales y supuestos de disposición. Dos empresas con igual tonelaje reciclado pueden reportar impactos distintos si una incluye transporte, sustitución de materiales vírgenes y tratamiento, mientras la otra contabiliza únicamente el volumen desviado del relleno sanitario. Por ello, los indicadores deben conservar trazabilidad metodológica y evitar comparaciones entre resultados contruidos con límites incompatibles.

Wang y Halog (2026) proponen un flujo de trabajo prospectivo de análisis de ciclo de vida para energía y residuos de un edificio universitario, con escenarios de matriz eléctrica y desvío de residuos. El valor conceptual de su propuesta reside en explicitar escenarios y sensibilidad, no en importar sus factores australianos a Colombia. Sharma y Aarav (2026), mediante un estudio institucional de reciclaje de papel en India, integran análisis de flujos materiales, ciclo de vida, costos y resultados sociales. Su caso ilustra que un programa puede evaluarse con múltiples dimensiones; las cifras de reducción de emisiones observadas allí no deben presentarse como beneficios esperados de cualquier programa de reciclaje. En ambos trabajos, la posibilidad de auditoría depende de fijar una unidad funcional, documentar el escenario de referencia y mantener registros replicables de cantidades y operaciones.

Ogunmakinde (2025) revisa estrategias de cero residuos en instituciones de educación superior australianas y enfatiza el carácter sistémico de la reducción y optimización de recursos. La relevancia para organizaciones empresariales es indirecta, pero permite cuestionar proyectos que mejoran una tasa de reciclaje sin disminuir la generación total de desechos. Un tablero territorial debería distinguir al menos generación absoluta, intensidad por unidad de producto o servicio, prevención en origen, reutilización, reciclaje efectivo, disposición final, costos netos y distribución de beneficios. Si aumenta la producción, una menor intensidad puede coexistir con un volumen

total creciente; si aumenta la separación, no necesariamente crece el aprovechamiento real. Esta distinción protege al manuscrito frente a interpretaciones complacientes de indicadores parciales.

LOGÍSTICA INVERSA, PARTICIPACIÓN COMUNITARIA Y CADENAS AGROALIMENTARIAS

La recuperación de materiales exige redes de recolección, clasificación, transporte, reparación y redistribución. Yanginlar et al. (2026) estudian la logística inversa y el uso de inteligencia artificial en cadenas automotrices turcas, destacando la mediación de la adopción tecnológica y el apoyo directivo en su relación con resultados de sostenibilidad. El contexto automotor y el diseño de la investigación impiden extrapolar magnitudes a puertos, comercio minorista o agroindustrias del Caribe colombiano. Sin embargo, el trabajo respalda una pregunta operativa útil: ¿qué parte del rendimiento de una cadena inversa depende de información sobre devoluciones, disponibilidad de materiales, ubicación de puntos de acopio y coordinación entre actores? Antes de adquirir plataformas, conviene asegurar estándares de clasificación, rutas, acuerdos de devolución y responsabilidades por calidad y pérdidas.

La participación social no puede reducirse a campañas de sensibilización. Moncada et al. (2026) diseñan un programa 3R en una universidad ecuatoriana a partir de una encuesta a 547 integrantes de su comunidad y validación por expertos; identifican diferencias entre componentes de las actitudes hacia la gestión de residuos. Hidayati et al. (2026), en una revisión bibliométrica de 312 documentos, examinan la presencia de factores culturales en los sistemas comunitarios de manejo de residuos. Ambos trabajos tienen ámbitos de observación diferentes al empresarial, pero sugieren que la aceptación de un esquema de separación, recuperación o reutilización depende de hábitos, reglas compartidas, infraestructura disponible y confianza entre actores. En el Caribe, un diseño participativo debe incorporar asociaciones de recicladores, gestores formales, trabajadores, barrios aledaños y autoridades, con atención a la remuneración, la seguridad y la distribución de responsabilidades.

Los encadenamientos agroalimentarios permiten vincular circularidad con gobernanza productiva. Galbán-Lozano et al. (2026) estudian, con entrevistas cualitativas, experiencias de cadenas cortas de alimentos en comunidades de Ecuador, Perú y Colombia; identifican relaciones entre educación financiera contextualizada, capacidad de organización y negociación. El caso colombiano se ubica en Cauca y no en la región Caribe, de modo que su valor es analítico, no una constatación territorial directa. Para evaluar aprovechamientos de subproductos agrícolas, el manuscrito propone comprobar quién posee el residuo, quién asume su transporte, cómo se fija el precio, qué estándares sanitarios aplican y quién captura el valor adicional. Sin estas condiciones, la valorización puede trasladar costos a productores de menor escala sin mejorar su posición económica.

CONCLUSIONES Y AGENDA DE INVESTIGACIÓN

La circularidad empresarial exige capacidades para prevenir pérdidas, rediseñar productos, organizar retornos, medir impactos y sostener contratos entre organizaciones. La literatura examinada permite identificar mecanismos plausibles y condiciones de implementación, pero no estimar la adopción de economía circular en todos los departamentos del Caribe colombiano. La evidencia regional disponible se concentra en estudios y propuestas localizadas; por tanto, los resultados comparados deben interpretarse como insumos para investigación y gestión, no como indicadores regionales observados. La propuesta de este capítulo consiste en medir cambios materiales netos, impactos ambientales y distribución del valor, con líneas base, trazabilidad y verificación proporcional a cada actividad.

DECLARATORIA DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En la elaboración de este capítulo se emplearon herramientas de inteligencia artificial generativa como recursos de apoyo para la búsqueda y recopilación preliminar de información, la organización y sistematización de contenidos, el procesamiento de información, la estructuración del manuscrito y el mejoramiento de su redacción y presentación editorial.

Su utilización se desarrolló bajo la dirección y supervisión de los autores, quienes conservaron la responsabilidad sobre el diseño y desarrollo del trabajo, la selección y evaluación

crítica de las fuentes, la verificación de la información, el análisis e interpretación de los hallazgos y la construcción de los aportes académicos. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron consideradas fuentes primarias de evidencia científica ni sustituyeron el criterio, el rigor metodológico o el juicio académico de los autores.

En consecuencia, los autores reconocen expresamente el uso de estas tecnologías como instrumentos auxiliares y asumen la responsabilidad integral por la originalidad, integridad, precisión y contenido de la obra, así como por la revisión y aprobación de su versión final. La utilización de inteligencia artificial no implica atribución de autoría a dichas herramientas ni modifica la titularidad de los derechos que legalmente correspondan a los autores sobre sus contribuciones originales.

REFERENCIAS

- Abad, S., Blomberg, T., & Hicks, A. (2026). Comparing methods for estimating scope 3 waste emissions: A university case study. *Environmental Research Communications*, 8, Article 075004. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae807c>
- Adow, A. H. (2026). Environmental accounting and circular economy adoption: A systematic review of corporate practices, innovations, and governance. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 21(4), 1717–1731. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.210422>
- Ardini, L., & Fahlevi, M. (2024). Circular economy from an environmental accounting perspective: Strengthening firm performance through green supply chain management and import regulation in Indonesia's plastic recycling industry. *Uncertain Supply Chain Management*, 12, 1633–1646. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2024.3.017>
- Asa'd, M., Wan Ahmad, W. N., & Ayoub, H. (2024). Environmental management accounting information and environmental performance, the mediating effect of environmental decision quality. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(2), 562–573. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.15487>
- Aureli, S., Foschi, E., & Paletta, A. (2025). Management accounting for a circular economy: Current limits and avenue for a dialogic approach. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 38(9), 291–319. <https://doi.org/10.1108/AAAJ-04-2022-5766>
- Cantillo, A. S., Tordecilla-Acevedo, V., Rosado Orozco, I., Baron, S., & Altamar Cassiani, J. P. (2025). Beyond recycling: How environmental accounting transforms the plastics industry. *Proceedings of the 23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.220723>
- Celis Murcia, L. M., Sandoval Barragán, M. I., & Valencia Rivera, W. (2025). Contabilidad ambiental en el campo colombiano: Análisis desde la realidad del sector arrocero. *Revista Venezolana de Gerencia*, 30(112), 2062–2079. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.30.112.24>
- Chen, R., & Li, Z. (2026). Empirical analysis of the roles of dynamic sustainable capabilities and artificial intelligence in accelerating circular business model innovation: Insights from Chinese manufacturing firms. *Technology in Society*, 85, Article 103176. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.103176>
- Congreso de la República de Colombia. (2013). Ley 1672 de 2013: Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/ley-1672-de-2013/>
- Congreso de la República de Colombia. (2022). Ley 2232 de 2022: Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/ley-2232-de-2022/>
- De Martino, P. (2022). Towards circular port-city territories: Rotterdam and the port back to the city. En L. Amenta et al. (Eds.), *Regenerative territories* (pp. 161–178). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78536-9_10
- de Miguel, C., Martínez, K., Pereira, M., & Kohout, M. (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe: Oportunidad para una recuperación transformadora (LC/TS.2021/120). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/47309>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2026). Cuenta Satélite Ambiental: Cuenta ambiental y económica de flujos de materiales de residuos sólidos, información provisional 2023–2024. <https://www.dane.gov.co/index.php/comunicados-y-boletines/cuentas-y-sintesis-nacionales/ambiente>
- Deviarti, H., & Nevara, G. A. (2026). Integrating digital green management accounting with circular economy: A systematic literature review of the palm oil agroindustry. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 9(1), 106–116.
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- Galbán-Lozano, S. E., Velázquez-Salazar, M., Martínez-García, E., & Peñuela-Díaz, X. (2026). Financial education and internal governance on short food supply chains: Evidence from vulnerable rural communities in Latin America. *Agricultural and Food Economics*, 14, Article 63. <https://doi.org/10.1186/s40100-026-00505-7>
- Gazzola, P., Pavione, E., & D'Adamo, G. (2026). Sustainability in e-commerce: The importance of transparency in the supply chain. *Sustainability*, 18(12), 6224. <https://doi.org/10.3390/su18126224>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy—A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gobierno de Colombia. (2019). Estrategia nacional de economía circular: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

- <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019-Final.pdf>
- Hasan, S. A. S., Waghule, S. N., Al Koliby, I. S., Al-Bukhrani, M. A., Al Haifi, M. M., & Hasan, M. B. (2024). Innovating for sustainability: The role of environmental management accounting in driving environmental performance. *Discover Sustainability*, 5, Article 183. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00389-x>
- Hidayati, A., Dewata, I., Syah, N., Barlian, E., Basri, I., Sholichin, M., & Fatimah, S. (2026). Integration of local culture in community-based waste management: A bibliometric analysis of global trends 2010–2024. *Multidisciplinary Reviews*, 9, Article e2026133. <https://doi.org/10.31893/multirev.2026133>
- International Organization for Standardization (ISO). (2024). ISO 59004:2024: Circular economy— Vocabulary, principles and guidance for implementation. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/08/06/80648.html>
- Jiménez Villalobos, T. P., Cuadrado Vega, O. I., Osorio Fortich, M. del R., Cervantes Ceballos, L., Baena Aristizábal, C., & Mayorca Beltrán, D. (2025). Business model for the development of a sustainable bioproduct from avocado seed waste in Colombia [Resumen de congreso]. *Universitas Scientiarum*, 30(Supl.), S30. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SCSI30.bmft>
- Khanh, T. H. T., Rajagopal, P., Tram, N. T. T., & Bardai, B. (2024). Environmental strategy and environmental management accounting as contributors to environmental and financial performance: The case of manufacturing firms in Vietnam for the Sustainable Development Goals (SDGs). *Journal of Ecohumanism*, 3(8), 1518–1532. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.4835>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Liem, V. T. (2025). The impact of leadership style, reward system, environmental strategy and environmental management accounting on environmental performance of Vietnamese manufacturers. *PLOS ONE*, 20(5), Article e0323662. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323662>
- Liu, Y., & Tian, H. (2026). Generative artificial intelligence, knowledge search patterns, and circular supply chain dependence reconstruction: A dual path model for performance improvement. *Technology in Society*, 86, Article 103308. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2026.103308>
- Mia, S., Quintelier, K., & Hordofa, D. F. (2026). Financing the circular economy and future research agenda through a systematic review using the TCCM framework. *Discover Sustainability*, 7, Article 1016. <https://doi.org/10.1007/s43621-026-03324-4>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 1407 de 2018: Gestión ambiental de residuos de envases y empaques (modificada posteriormente). <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1407-de-2018/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). Resolución 0803 de 2024: Medidas para la reducción gradual de ciertos productos plásticos de un solo uso. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0803-del-24-de-junio-de-2024/>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca del Ecuador. (2021). Libro blanco de economía circular de Ecuador. Gobierno del Ecuador.
- Moncada, J. A., Vásquez-Hernández, L. R., Zambrano, M. B., & Moreira, K. A. (2026). Actitudes de la comunidad universitaria hacia el manejo de desechos sólidos: Creación de un programa 3R (Reducir-Reciclar-Reutilizar) para la Universidad Técnica del Norte (Ecuador). *Formación Universitaria*, 19(3), 163–172. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062026000300163>
- Mukwarami, S., & van der Poll, H. M. (2024a). A theoretical approach to address environmental management accounting implementation barriers in small and medium enterprises in developing countries. *Discover Sustainability*, 5, Article 385. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00598-4>
- Mukwarami, S., & van der Poll, H. M. (2024b). Critical environmental management accounting practices influencing service delivery of growing cities in a developing economy: A review and conceptual framework. *Environment Systems and Decisions*, 44, 710–739. <https://doi.org/10.1007/s10669-023-09960-9>
- Mushtaq, B., Halog, A., & Hussain, S. (2026). Integrating circular economy and industrial green total factor productivity: A CIGTFP model for industrial sustainable development and environmental management. *Circular Economy and Sustainability*, 6, Article 170. <https://doi.org/10.1007/s43615-026-00928-w>
- Nguyen, T. M. A. (2024). Adoption of environmental management accounting in Vietnamese enterprises: An empirical analysis of influencing determinants. *PLOS ONE*, 19(6), Article e0304902. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304902>
- Ogunmakinde, O. E. (2025). Achieving zero waste: Circular economy strategies in Australian higher education. *Construction Economics and Building*, 25(2), 1–23. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v25i2.9131>
- Pak, S., Kaya, Y., & Utku, M. (2024). Sustainability and environmental costs in the textile industry: A case study.

- Industria Textila, 75(4), 455–462. <https://doi.org/10.35530/IT.075.04.202384>
- Reyes Maldonado, N. M., Durán Peña, J. A., & Angarita Vargas, D. A. (2024). Indicadores de ecoeficiencia y estrategias de sostenibilidad en la industria manufacturera colombiana: Un estudio exploratorio con enfoque en contabilidad ambiental. *Innovar*, 34(94), Article e116814. <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n94.116814>
- Rodríguez Galindo, E. T. (Comp.). (2023). *Economía circular y negocios verdes: Una propuesta diferente para emprender*. Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO. <https://doi.org/10.26620/uniminuto/978-958-763-701-4>
- Shakra, K., Refat, M., Ebied, M. A., & Elborlsy, M. S. (2026). Enhancing educational environments: A sustainable approach through creative design and upcycling applications. *Scientific Reports*, 16, Article 17185. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-54143-6>
- Sharma, S., & Aarav, P. (2026). A case study of integrated life cycle assessment & socio-economic impact of university-supported waste paper recycling initiative. *Discover Sustainability*, 7, Article <https://doi.org/10.1007/s43621-026-02734-8>
- Sisaye, S., & Birnberg, J. G. (2025). The evolution of sustainability accounting and reporting in the United States: Applications of the ecological anthropology and industrial ecology frameworks. *Journal of Business and Socio-economic Development*, 5(2), 104–121. <https://doi.org/10.1108/JBSED-03-2023-0020>
- United Nations Environment Programme & International Resource Panel. (2024). *Global resources outlook 2024*. <https://www.unep.org/index.php/es/resources/Global-Resource-Outlook-2024>
- Vargas González, V., Gallego, G. G., & Hernández, A. C. (2024). Contabilidad socio-ambiental en empresas industriales: Diversos enfoques para su implementación. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(Especial 11), 793–810. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.e11.47>
- Vargas González, V., Gallego, G. G., & López, D. C. (2024). Etapas para implementación de contabilidad socio-ambiental en empresas industriales de la zona industrial de Barranquilla-Colombia. *Revista de Ciencias Sociales*, 30(Número Especial 9), 271–280. <https://doi.org/10.31876/rcs.v30i.42263>
- Wang, B., Yan, L., Fu, Q., & Kasal, B. (2021). A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 171, Article 105565. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105565>
- Wang, S., & Halog, A. (2026). Prospective operational life cycle assessment of energy and waste systems in a university building: An auditable workflow using openLCA and Brightway2. *Journal of Industrial Ecology*, 30, 2159–2171. <https://doi.org/10.1007/s44498-026-00147-4>
- Yanginlar, G., Ansari, S., & Altay, N. (2026). Reverse logistics and sustainable supply chains in the automotive industry: The roles of AI adoption and top management support. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 210, Article 104791. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2026.104791>
- Zandee, D., Rotaru, K., Creed, A., & Zutshi, A. (2026). Infrastructuring socio-ecological stewardship: Accounting, governance and circular economy transitions in construction. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 39(9), 28–63. <https://doi.org/10.1108/AAAJ-07-2024-7253>