

Chapter 5 / Capítulo 5

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.Ch05
Pages: 96-121



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

Sustainable Logistics and Responsible Supply Chains in the Colombian Caribbean within the 2030 Agenda

Logística sostenible y cadenas de suministro responsables en el Caribe colombiano ante la Agenda 2030

Yasniel Sánchez Suárez¹  

Dennyse María Patricia Hermosa Guzmán²  

Libardo Ramón Polanía²  

1 Universidad de Matanzas. Matanzas, Cuba.

2 Universidad de la Amazonia. Florencia, Colombia.

ABSTRACT

Sustainable logistics integrates operational efficiency, reliability, labour conditions, environmental impacts and supply-chain resilience. Drawing on Colombian port statistics, multilateral reports, emissions-accounting standards and research on suppliers, reverse logistics and data governance, this chapter develops a conceptual and comparative analysis for the Colombian Caribbean. It distinguishes cargo volumes from the quality of logistics operations and does not treat international evidence as regional findings. The proposed decision framework links material-flow diagnosis, alternative selection, emissions estimation, stakeholder coordination, economic appraisal and evaluation. Further territorial research requires disaggregated information on time, costs, emissions and smaller firms' participation.

Keywords: sustainable logistics; supply chains; maritime transport; decarbonization; Colombian Caribbean; 2030 Agenda

RESUMEN

La logística sostenible exige integrar eficiencia operativa, confiabilidad, condiciones laborales, impactos ambientales y resiliencia de las cadenas de suministro. El análisis establece una discusión conceptual y comparada para el Caribe colombiano a partir de estadísticas portuarias nacionales, informes multilaterales, normas de medición de emisiones y estudios sobre selección de proveedores, logística inversa y gobernanza de datos. Se distingue el volumen de carga de la calidad de las operaciones y se evita atribuir resultados regionales a investigaciones internacionales. Se propone un marco de decisiones que conecta diagnóstico de flujos, selección de alternativas, cálculo de emisiones, coordinación de actores, evaluación económica y seguimiento de resultados. La agenda de investigación requiere datos desagregados sobre tiempos, costos, emisiones y participación de pequeñas empresas.

Palabras clave: logística sostenible; cadenas de suministro; transporte marítimo; descarbonización; Caribe colombiano; Agenda 2030

INTRODUCCIÓN

DEL MOVIMIENTO DE CARGA AL DESEMPEÑO TERRITORIAL

El Caribe colombiano ocupa una posición decisiva en la circulación de mercancías por sus conexiones marítimas y terrestres. Según información divulgada por el Ministerio de Transporte a partir del Boletín Portuario de la Superintendencia de Transporte, durante 2024 las zonas portuarias del país movilizaron 180,5 millones de toneladas de carga, de las cuales 157,2 millones correspondieron a la región Caribe, equivalente al 87,1 % del total. La cifra describe movimiento portuario agregado; no mide por sí misma productividad logística de todas las empresas, huella de carbono ni bienestar de comunidades próximas a los puertos. La magnitud de la actividad hace relevante discutir sus encadenamientos, pero no autoriza a equiparar toneladas movilizadas con sostenibilidad (Ministerio de Transporte, 2025; Superintendencia de Transporte, 2025a).

La logística empresarial integra aprovisionamiento, transporte, almacenamiento, manipulación, información, inventarios y distribución. La sostenibilidad añade condiciones económicas, ambientales y sociales que deben examinarse conjuntamente. Una operación puede reducir tiempos y elevar emisiones por unidad transportada; otra puede disminuir costos mediante la precarización de subcontratistas. El análisis exige distinguir eficiencia privada de externalidades territoriales y reconocer que una cadena está integrada por actores con capacidades distintas. Las mipymes proveedoras suelen disponer de menor margen para invertir en sistemas de trazabilidad y para negociar plazos de pago, aunque participan en el cumplimiento de estándares de compradores mayores (Kannan, 2018; OECD, 2024).

La hipótesis analítica es que la transición logística no depende únicamente de adquirir vehículos o tecnologías. Requiere coordinación contractual, datos comparables, infraestructura, capacidades de gestión y financiamiento adecuado. La sostenibilidad de una ruta, por ejemplo, no se establece solo por su distancia: intervienen ocupación de vehículos, frecuencia, modo, condiciones de carga, combustible, retornos vacíos y restricciones operativas. La decisión pertinente compara alternativas dentro de un sistema, en lugar de optimizar aisladamente un indicador. El informe de la International TransportForum (2023) y la norma ISO 14083:2023 ofrecen referencias para construir esa comparación con criterios explícitos (International Transport Forum, 2023; ISO, 2023).

DELIMITACIÓN CONCEPTUAL: EFICIENCIA, RESILIENCIA Y RESPONSABILIDAD

La eficiencia logística suele medirse mediante costo por operación, cumplimiento de entregas, utilización de activos y tiempos de ciclo. La resiliencia se refiere a la capacidad de anticipar, absorber y recuperarse de interrupciones sin perder funciones esenciales. La responsabilidad incorpora condiciones laborales, seguridad, impactos ambientales, cumplimiento contractual y trato con proveedores. Estas dimensiones pueden reforzarse, pero no siempre se mueven en la misma dirección. Una red con inventarios mínimos puede reducir costos de almacenamiento y ser vulnerable a interrupciones; una ruta más corta puede depender de infraestructura congestionada y producir demoras. Por ello, los indicadores deben evaluarse de forma conjunta y bajo escenarios de riesgo (World Bank, 2023; UNCTAD, 2024).

La selección de proveedores es una decisión de sostenibilidad porque define una parte importante de los riesgos de la cadena. Kannan (2018) propuso un sistema multicriterio que integra perspectivas de interesados y factores críticos para seleccionar proveedores sostenibles. El aporte no consiste en adoptar sin validación sus ponderaciones en el Caribe colombiano, sino en reconocer que precio, calidad, capacidad, cumplimiento ambiental y condiciones sociales pueden requerir reglas de decisión explícitas. Los criterios deben adaptarse a tamaño y sector del proveedor, evitando exigencias que excluyan automáticamente a pequeños negocios sin asistencia para cumplir estándares (Kannan, 2018).

El concepto de logística inversa amplía el análisis más allá de la entrega inicial; devoluciones, reparación, recuperación de empaques, reutilización y valorización de materiales crean flujos en sentido contrario que necesitan infraestructura, información y contratos. Un sistema de recolección puede parecer ambientalmente positivo, pero su desempeño depende de distancias recorridas, tasas efectivas de recuperación y calidad del material. El estudio de Yanginlar, Ansari y Altay (2026), realizado en cadenas automotrices de Türkiye, analiza relaciones entre adopción de inteligencia artificial, apoyo directivo y desempeño de logística inversa. Sus resultados no son mediciones del Caribe colombiano, aunque ofrecen mecanismos que pueden contrastarse

regionalmente (Yanginlar et al., 2026).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EVIDENCIA PORTUARIA Y LÍMITES DE INTERPRETACIÓN

El Boletín Estadístico de Tráfico Portuario ofrece datos agregados por zonas, sociedades, tipos de tráfico y carga. Es una fuente relevante para contextualizar el Caribe colombiano, siempre que se distinga volumen de importaciones, exportaciones, transbordo y cabotaje. El crecimiento de toneladas no permite concluir automáticamente que se redujeron costos por unidad, emisiones o tiempos de permanencia. Para evaluar productividad y sostenibilidad se requieren denominadores adecuados, como tonelada-kilómetro, unidad transportada, tiempo de ciclo, consumo energético y condiciones de la operación. La publicación institucional permite establecer el tamaño de los flujos; los resultados ambientales necesitan fuentes adicionales (Superintendencia de Transporte, 2025a).

Las diferencias entre Cartagena, Barranquilla, Ciénaga, La Guajira y otras zonas portuarias no deben resumirse mediante una sola tasa. Los tipos de carga, la infraestructura y las relaciones con el hinterland difieren, por lo que una comparación sin segmentación puede atribuir a la gestión efectos que provienen de la especialización productiva. La distribución de actividades también afecta la relación con carreteras, centros logísticos y redes empresariales. El World Bank Logistics Performance Index 2023 mide dimensiones nacionales de conectividad y confiabilidad logística; no es una medición de desempeño municipal ni un ranking de las empresas caribeñas (World Bank, 2023; Superintendencia de Transporte, 2025a).

La UNCTAD (2024) advierte que los puntos críticos del transporte marítimo internacional pueden alterar rutas, costos y tiempos. La exposición de las empresas caribeñas a tales cambios depende de sus mercados, contratos, productos y alternativas de transporte. No todas las empresas sufren el mismo choque, y algunas pueden beneficiarse de reorganizaciones de rutas. Por ello, la gestión de riesgos debe considerar dependencia de puertos y transportadores, concentración de proveedores, alternativas de almacenamiento y costos de contingencia. La diversificación no debe promoverse como solución universal: puede elevar costos y emisiones si se aplica sin análisis de frecuencia e impacto (UNCTAD, 2024).

DESCARBONIZACIÓN DEL TRANSPORTE Y MEDICIÓN CONSISTENTE

La reducción de emisiones logísticas exige medir antes de intervenir. La norma ISO 14083:2023 establece una metodología común para cuantificar y reportar emisiones de gases de efecto invernadero de operaciones en cadenas de transporte de pasajeros y carga. Su relevancia radica en definir fronteras, datos de actividad y procedimientos comparables. Para una empresa, la unidad funcional debe reflejar el servicio prestado: toneladas transportadas, distancia, tipo de vehículo, ocupación y combustible. Sin un método estable, una caída de emisiones absolutas podría resultar de menor actividad, mientras un aumento podría coexistir con mejoras de eficiencia por unidad de carga (ISO, 2023). El informe ITF Transport Outlook 2023 compara escenarios de ambición climática y advierte que la demanda de transporte puede crecer a la vez que se intenta reducir su intensidad de carbono. En el ámbito empresarial, esto implica combinar decisiones de consolidación de carga, mantenimiento, planificación de rutas, eficiencia de flotas, modos de transporte y reducción de recorridos vacíos. Ninguna alternativa es óptima en todas las condiciones. Un cambio modal puede requerir infraestructura y plazos incompatibles con ciertas mercancías; la electrificación puede depender de autonomía, costo de capital y suministro energético. La evaluación debe combinar viabilidad económica, desempeño ambiental y confiabilidad (International Transport Forum, 2023; ISO, 2023).

La información de emisiones no se produce únicamente dentro de una organización. Ströher et al. (2025) examinaron las dificultades de compartir datos de carbono entre actores de cadenas sostenibles y las oportunidades de automatizar esa comunicación. El reto es tanto técnico como contractual: distintas empresas utilizan formatos, factores de emisión y fronteras de medición que no siempre coinciden. Una plataforma común puede mejorar comparabilidad, pero debe definir propiedad de datos, controles de calidad y acceso. La interoperabilidad no equivale a veracidad si los datos originales carecen de respaldo (Ströher et al., 2025).

DIGITALIZACIÓN, INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y CAPACIDADES DE IMPLEMENTACIÓN

La digitalización puede mejorar pronósticos de demanda, visibilidad de inventarios y coordinación de transporte. Toorajipour et al. (2021), mediante una revisión sistemática, identificaron aplicaciones de inteligencia artificial en gestión de cadenas de suministro. Su aporte para el Caribe colombiano es ofrecer un repertorio de mecanismos posibles, no demostrar que cualquier empresa local obtendrá ahorros al incorporar algoritmos. Los beneficios dependen de calidad de datos, procesos estandarizados, personal capacitado y capacidad de convertir predicciones en decisiones operativas (Toorajipour et al., 2021).

La tecnología también puede ampliar desigualdades dentro de la cadena. Un gran comprador puede exigir reportes electrónicos a proveedores que carecen de conectividad o recursos para adquirir software. Si el costo se traslada íntegramente al eslabón más pequeño, la modernización puede reducir competencia y aumentar concentración. Las herramientas compartidas, la asistencia técnica y los estándares interoperables son alternativas que deben evaluarse por su costo total y por la protección de datos comerciales. La digitalización de la trazabilidad debe acompañarse de criterios de gobernanza y responsabilidades claras (Ströher et al., 2025; OECD, 2024).

La logística sostenible necesita formación financiera y organizacional, además de tecnología. Galbán-Lozano et al. (2026) estudiaron educación financiera y gobernanza interna en cadenas alimentarias cortas de comunidades rurales latinoamericanas. La pertinencia del trabajo consiste en destacar mecanismos de coordinación, reglas y capacidades de decisión. No debe confundirse el contexto específico de sus comunidades con la totalidad de cadenas del Caribe colombiano. La transferencia exige reconocer actores, contratos, distribución de ingresos y barreras de participación (Galbán-Lozano et al., 2026).

FINANCIAMIENTO, CONTRATOS Y ENCADENAMIENTOS DE MIPYMES

Las inversiones en vehículos, refrigeración, almacenamiento, digitalización y gestión de residuos requieren capital y capacidad de pago. La decisión financiera debe considerar ahorros esperados, demanda, mantenimiento y riesgos de obsolescencia. Un equipo eficiente puede reducir costos de operación, pero no será viable si la empresa carece de volumen suficiente o de contratos estables. La financiación sostenible debe articularse con el capítulo 3 de esta obra: elegibilidad ambiental, plazo del instrumento, trazabilidad del desembolso y medición posterior son condiciones diferentes que deben verificarse por separado (OECD, 2024; International FinanceCorporation, 2023).

En cadenas con compradores dominantes, los plazos de pago pueden trasladar necesidades de financiación a pequeños proveedores. Un programa de sostenibilidad que exige inversiones ambientales sin modificar condiciones comerciales puede elevar su vulnerabilidad. Las alternativas incluyen acuerdos de compra, factoring, garantías y esquemas de inversión compartida, siempre que los costos y riesgos se distribuyan transparentemente. La sostenibilidad no debe medirse únicamente desde el comprador principal: también importa la continuidad de los proveedores y la calidad del empleo que sostienen la operación (Kannan, 2018; Galbán-Lozano et al., 2026).

La financiación de infraestructura constituye una dimensión complementaria. Constantino y Saade Hazin (2024) analizaron opciones de financiación para infraestructura sostenible en América Latina y el Caribe. La conexión empresarial es directa: carreteras, conectividad, energía y servicios logísticos condicionan las posibilidades de reducir tiempos y emisiones. La inversión privada en procesos no reemplaza las funciones públicas de planificación y mantenimiento. Una agenda regional requiere diferenciar las responsabilidades de operadores, empresas, concesionarios y gobiernos, evitando atribuir a cada organización resultados que dependen de toda la red (Constantino & Saade Hazin, 2024).

MODELO DE SEGUIMIENTO TERRITORIAL Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Se propone un esquema de evaluación por cinco momentos. Primero, caracterizar la cadena y sus actores, identificando rutas, tipos de carga, estacionalidad y participación de mipymes. Segundo, levantar líneas de base de costos, tiempos, incidentes, consumos y emisiones. Tercero, comparar alternativas de intervención y sus riesgos financieros y sociales. Cuarto, ejecutar acciones con trazabilidad de inversión y responsabilidades contractuales. Quinto, evaluar cambios observados y contrastarlos con variaciones de actividad, precios, clima y demanda. El modelo

es una propuesta analítica no validada, y su aplicación requiere datos regionales y acuerdos institucionales (ISO, 2023; World Bank, 2023; International Transport Forum, 2023).

Los indicadores mínimos deben incluir costo logístico por unidad comparable, cumplimiento de entregas, tiempo de ciclo, utilización de capacidad, pérdidas y devoluciones, consumo energético, emisiones por unidad funcional, incidentes de seguridad y participación de proveedores pequeños. Cada indicador necesita denominador, fuente, periodo y criterio de calidad. La agregación puede ocultar diferencias entre actividades: el transporte de graneles no es equivalente a la distribución de alimentos perecederos o a servicios de comercio electrónico. Las comparaciones deben organizarse por tipo de operación antes de emitir juicios sobre desempeño regional (Superintendencia de Transporte, 2025a; ISO, 2023).

La agenda de investigación plantea preguntas concretas: ¿qué inversiones logísticas producen mejoras ambientales netas después de incluir los retornos vacíos? ¿Cómo cambian los costos de cumplimiento sostenible entre proveedores grandes y pequeños? ¿Qué barreras de datos impiden calcular emisiones de cadenas interorganizacionales? ¿Qué modalidades contractuales distribuyen de manera más equitativa costos de transición? ¿Cómo se relacionan las interrupciones de rutas con liquidez y supervivencia empresarial? Estas preguntas no presuponen resultados; orientan estudios comparables en departamentos y municipios del Caribe colombiano (Ströher et al., 2025; Kannan, 2018; UNCTAD, 2024).

TRANSPORTE DE MERCANCÍAS: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y DECISIONES DE INVERSIÓN

La evaluación ambiental del transporte de carga suele concentrarse en el consumo directo de combustible. Esa frontera resulta útil para una primera aproximación operativa, pero puede producir decisiones equivocadas cuando se comparan vehículos, rutas, combustibles o infraestructuras con trayectorias tecnológicas diferentes. Osorio-Tejada, Llera-Sastresa y Scarpellini (2024) desarrollaron un enfoque de análisis de ciclo de vida aplicable a servicios concretos de transporte por carretera y lo contrastaron, entre otros contextos, con operaciones de Colombia. Su contribución reside en incorporar la fabricación de vehículos, la producción de combustibles, la infraestructura y las actividades de mantenimiento, en lugar de reducir el impacto al tramo de combustión. La presencia de Colombia en el diseño de casos mejora la pertinencia del estudio para esta obra, aunque no convierte sus resultados en estimaciones de los corredores del Caribe colombiano.

Una comparación entre dos alternativas de transporte requiere definir la unidad funcional y los límites del sistema antes de estimar beneficios. Si una empresa sustituye un camión convencional por otro de mayor capacidad, el resultado ambiental dependerá de la carga efectivamente movilizadora, el número de viajes, las distancias recorridas, la antigüedad de los equipos y el tratamiento de los retornos. El mismo vehículo puede mostrar un desempeño favorable por tonelada-kilómetro y un aumento de emisiones absolutas cuando la empresa expande sustancialmente la demanda. Además, un combustible alternativo no puede considerarse de bajo impacto únicamente por su comportamiento durante el uso; su cadena de producción puede desplazar cargas ambientales hacia actividades agrícolas, industriales o energéticas. Esta distinción entre emisiones operativas y de ciclo de vida impide presentar la renovación de flota como una solución automáticamente sostenible (Osorio-Tejada et al., 2024; ISO, 2023).

Para el Caribe colombiano, una aplicación empresarial razonable comenzaría por seleccionar rutas representativas y construir fichas comparables por vehículo, producto y servicio. Las fichas deberían registrar distancia real, carga útil, viajes en vacío, consumo, tipo de combustible, vida útil, mantenimiento y restricciones de circulación. Después podrían evaluarse escenarios de consolidación, renovación, tercerización o cambio modal. La utilidad del ejercicio depende de conservar trazabilidad sobre las hipótesis y no de presentar un único número aparentemente preciso. En particular, cuando faltan datos de fabricación o infraestructura, el informe debe declarar qué factores se tomaron de fuentes secundarias y cómo afecta esa sustitución a la comparación. El objetivo no es producir una clasificación definitiva de transportadores, sino mejorar decisiones de inversión y evitar desplazamientos de impactos entre etapas de la cadena.

La transición hacia una operación de menores emisiones también tiene implicaciones distributivas. Los transportadores pequeños pueden trabajar con vehículos antiguos porque enfrentan restricciones de crédito, no necesariamente porque desconozcan los beneficios de una flota moderna. Exigir estándares de desempeño sin opciones de financiación, contratos estables o periodos de adaptación puede concentrar el mercado en operadores grandes. Por eso, la comparación tecnológica debe ir acompañada de una evaluación financiera que

contemple depreciación, mantenimiento, costo de capital, ingresos esperados y condiciones de subcontratación. Una intervención ambientalmente deseable puede ser inviable para el proveedor que asume el desembolso, mientras el ahorro reputacional o comercial se concentra en el comprador. La decisión sostenible exige discutir quién invierte, quién ahorra, quién verifica y quién soporta el riesgo (OECD, 2024; International Finance Corporation, 2023).

EMISIONES DE ALCANCE 3 Y CALIDAD DE LOS DATOS INTERORGANIZACIONALES

Las emisiones asociadas con transporte contratado suelen ubicarse fuera del control operativo directo de la empresa compradora. Esta separación organizacional no elimina su relevancia ambiental: desplaza la dificultad hacia la recopilación y atribución de datos entre agentes con sistemas de información y contratos distintos. Salonitis, Patsavellas y GarcíaLlubia (2026) desarrollaron una herramienta para estimar emisiones del transporte de entrada en una cadena manufacturera, incorporando tipo de vehículo, distancia y carga, y utilizaron simulación Monte Carlo para representar incertidumbre. Sus escenarios muestran por qué no basta con asignar un factor promedio a todas las entregas: las rutas de múltiples paradas y las cargas desiguales pueden modificar considerablemente el resultado. Se trata de evidencia metodológica internacional, no de una medición empresarial del Caribe colombiano.

El cálculo de alcance 3 plantea una tensión entre precisión y viabilidad. Solicitar a cada proveedor consumo exacto de combustible, telemetría, rutas y cargas puede elevar la calidad del inventario, pero también los costos administrativos y los riesgos de exposición comercial. Utilizar promedios sectoriales reduce la carga de información y permite construir una línea base, aunque introduce incertidumbre y puede ocultar mejoras específicas. La elección debe responder a la importancia material de cada flujo y a la capacidad de la organización para verificarlo. Un esquema gradual puede empezar por los corredores de mayor gasto o volumen y profundizar en aquellos donde la información adicional cambia decisiones de inversión. Ströher et al. (2025) advierten sobre las barreras organizacionales al intercambio automatizado de datos de carbono; su discusión es particularmente útil para cadenas en las que transportadores, operadores y compradores no comparten plataformas.

Para evitar doble conteo y comparaciones improcedentes se requiere un diccionario común de datos. Cada registro debería identificar servicio, periodo, modalidad de contratación, origen y destino a un nivel compatible con la confidencialidad, unidad física, método de estimación, fuente del factor de emisión y responsable de la validación. El reporte empresarial debe distinguir datos primarios de estimaciones modeladas, así como emisiones absolutas de intensidades operativas. Cuando el servicio de transporte incluye múltiples clientes, también debe justificarse el criterio de asignación. La norma ISO 14083:2023 proporciona un marco para cuantificar y comunicar emisiones de operaciones de transporte, pero su aplicación no sustituye la obligación de documentar las decisiones particulares de cada inventario (ISO, 2023; Salonitis et al., 2026).

La discusión tiene una consecuencia de gobernanza: un comprador puede mejorar la calidad de su inventario de carbono sin mejorar todavía el desempeño real de la cadena. Incorporar datos más completos puede incluso elevar inicialmente las emisiones reportadas, aunque las operaciones no hayan empeorado. Por ello, los programas de reducción deberían separar indicadores de cobertura y calidad de datos de indicadores de disminución física de emisiones. La primera dimensión informa qué proporción de los flujos está caracterizada y con qué confiabilidad; la segunda exige evidencia de cambios en rutas, cargas, combustibles o tecnología. La transparencia en esta distinción reduce el riesgo de atribuir a una intervención un resultado que procede exclusivamente de una corrección contable (Ströher et al., 2025; Salonitis et al., 2026).

PUERTOS, CIUDAD Y GOBERNANZA DEL TERRITORIO LOGÍSTICO

Los puertos no operan en un espacio vacío: forman parte de ciudades, zonas industriales, corredores viales, ecosistemas costeros y mercados laborales. De Martino (2022), al examinar las transformaciones del territorio puerto-ciudad de Rotterdam, muestra la importancia de las trayectorias institucionales y de la dependencia de decisiones históricas. El caso europeo no ofrece una receta para Cartagena, Barranquilla o Santa Marta, pero ayuda a formular una pregunta institucional pertinente: ¿cómo coordinar competitividad portuaria, transformación urbana y calidad ambiental cuando los costos y beneficios se distribuyen entre actores diferentes? Una expansión de capacidad puede generar valor comercial y, simultáneamente, nuevas presiones

sobre accesos, espacio público, emisiones locales o usos del suelo. El análisis debe hacer visibles esas interdependencias.

La sostenibilidad portuaria no se demuestra por la sola publicación de un informe. Abate, Bisogno y Citro (2025) examinaron autoridades portuarias italianas y encontraron debilidades en la articulación entre objetivos estratégicos, recursos financieros, indicadores y reportes de sostenibilidad. El hallazgo es importante por su estructura de gestión, no porque pueda extrapolarse como diagnóstico de las autoridades colombianas. Un puerto puede declarar metas ambientales sin identificar las inversiones que las respaldan, o comunicar proyectos aislados sin demostrar su contribución a resultados verificables. El problema central es de coherencia entre planificación, presupuesto, ejecución, medición y aseguramiento externo. La información pública debe permitir reconstruir esa secuencia y no limitarse a exhibir actividades (Abate et al., 2025).

Una arquitectura territorial de seguimiento podría diferenciar al menos cuatro niveles de responsabilidad. Las autoridades públicas definen condiciones de ordenamiento, seguridad y regulación; las autoridades y operadores portuarios administran instalaciones y servicios específicos; los transportadores y operadores logísticos controlan partes de los flujos; las empresas generadoras de carga determinan frecuencias, exigencias de entrega y contratación. Atribuir toda la huella ambiental a un solo actor oscurece las posibilidades reales de intervención. También dificulta identificar conflictos de interés cuando quien reporta el resultado controla simultáneamente la metodología, los datos y la validación. La experiencia internacional de reportes portuarios sugiere establecer trazabilidad documental entre decisiones, recursos e indicadores, con mecanismos de revisión proporcionados al tamaño de la operación (Abate et al., 2025; De Martino, 2022).

La relación puerto-ciudad requiere reconocer que los indicadores agregados de comercio no capturan todos los impactos locales. La actividad portuaria puede aumentar mientras ciertos barrios enfrentan congestión, ruido o deterioro de accesibilidad; a la inversa, mejoras en coordinación de turnos y accesos pueden reducir molestias sin alterar significativamente el tonelaje anual. La evaluación debe combinar indicadores de carga y tiempos con información sobre movilidad, seguridad vial, calidad del aire, participación comunitaria y empleo. La propuesta no supone que todos los puertos colombianos enfrenten los mismos problemas. Su valor está en exigir que cada decisión explícite la escala geográfica, los actores afectados y las alternativas descartadas, en vez de sustituir el análisis territorial por una sola cifra de productividad (Ministerio de Transporte, 2025; Superintendencia de Transporte, 2025a).

ADAPTACIÓN CLIMÁTICA, CONTINUIDAD DE OPERACIONES Y DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE

La adaptación climática de las cadenas logísticas no se reduce a disminuir emisiones. Una infraestructura puede ser relativamente eficiente y permanecer expuesta a lluvias extremas, inundaciones, alteraciones del oleaje, cierres de vías o interrupciones de energía. Altarriba (2025), al revisar el transporte marítimo en Kymenlaakso, Finlandia, muestra que el cambio de condiciones climáticas altera riesgos operativos de manera compleja y que las inversiones de larga duración requieren información local robusta. Las condiciones de hielo y navegación del Báltico no son equivalentes a las del Caribe colombiano; la lección transferible es metodológica: no conviene decidir inversiones irreversibles con promedios climáticos insuficientes o escenarios no contrastados. La adaptación debe responder a amenazas específicas del territorio y del activo.

El diagnóstico de vulnerabilidad necesita distinguir exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta. Dos bodegas situadas en zonas con amenazas similares pueden experimentar pérdidas distintas según elevación, diseño de drenaje, redundancia eléctrica, protección de inventarios y disponibilidad de rutas alternas. Del mismo modo, dos transportadores expuestos al cierre de un corredor pueden presentar consecuencias muy diferentes si uno opera con múltiples clientes y el otro depende de un contrato exclusivo. La continuidad logística debe evaluarse a partir de funciones esenciales: abastecimiento, conservación de mercancías, cumplimiento de entregas críticas y recuperación después de una interrupción. Las medidas de adaptación incluyen tanto obras físicas como acuerdos de contingencia, sistemas de alerta y reservas financieras, que deben compararse por costo y eficacia esperada (UNCTAD, 2024; Altarriba, 2025).

Una matriz de riesgo útil no asignaría automáticamente una probabilidad numérica a eventos poco documentados. Cuando los datos son insuficientes, puede trabajar con escenarios explícitos y rangos de consecuencias, identificando las decisiones robustas bajo varias condiciones plausibles. Para una empresa de alimentos refrigerados, por ejemplo, la interrupción eléctrica

afecta conservación, tiempos y pérdidas; para un exportador de carga seca, puede ser más determinante la congestión de acceso o la falta de contenedores. La respuesta debe priorizar los puntos donde una falla interrumpe el servicio completo y donde una inversión relativamente pequeña puede mejorar la capacidad de recuperación. L

a comparación de escenarios requiere declarar supuestos, duración del choque, alternativas disponibles y responsables de activar el plan. La resiliencia también tiene costos y compensaciones. Mantener inventarios de seguridad puede reducir el riesgo de desabastecimiento, pero aumenta capital inmovilizado, uso de espacio y pérdidas potenciales por vencimiento. Contratar proveedores alternativos disminuye dependencia, aunque puede elevar costos de transacción y distancias recorridas. Por ello, una agenda de sostenibilidad que exige simultáneamente inventarios mínimos, máxima puntualidad y resistencia absoluta a interrupciones plantea objetivos que pueden ser incompatibles. La gestión debe identificar niveles aceptables de servicio y criterios para activar reservas, rutas o contratos alternativos. La evidencia de riesgos marítimos internacionales justifica estudiar estas decisiones, pero su parametrización en el Caribe colombiano exige registros empresariales y territoriales específicos (UNCTAD, 2024; World Bank, 2023).

LOGÍSTICA URBANA, COMERCIO ELECTRÓNICO Y DISTRIBUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA

La distribución urbana vincula la logística con el consumo cotidiano, el espacio público y las condiciones de trabajo. El comercio electrónico puede ampliar mercados para pequeños negocios, pero también fragmentar entregas, multiplicar intentos fallidos y elevar el uso de empaques. Gazzola, Pavione y D'Adamo (2026) analizan la transparencia de las cadenas del comercio electrónico y advierten sobre presiones ambientales asociadas con última milla, devoluciones y residuos de embalaje. Su discusión resulta útil para diferenciar una mejora comercial de una mejora ambiental neta. Un mayor número de pedidos no implica necesariamente un aumento proporcional de emisiones si existe consolidación; del mismo modo, una entrega rápida no equivale a una entrega eficiente cuando obliga a utilizar vehículos con baja ocupación.

La elección entre entrega domiciliaria, puntos de recogida y distribución agrupada debe analizarse según densidad de demanda, hábitos de desplazamiento y costos de coordinación. Un punto de recogida puede reducir kilómetros de reparto, pero trasladar desplazamientos a consumidores; el beneficio neto depende de si estos realizan viajes adicionales o aprovechan trayectos existentes. Los vehículos eléctricos pueden reducir emisiones locales durante el uso, pero su adopción requiere considerar origen de electricidad, mantenimiento, disponibilidad de carga y costos de inversión. La planificación de rutas puede disminuir recorridos vacíos, aunque también intensificar jornadas de repartidores si se convierte en una exigencia de productividad sin límites de seguridad. La evaluación integral necesita medir servicio, ambiente y trabajo en una misma unidad de decisión (Gazzola et al., 2026; International Transport Forum, 2023).

En ciudades del Caribe colombiano, la heterogeneidad urbana hace improcedente proponer una solución única. Los centros históricos, corredores comerciales, zonas residenciales dispersas y áreas periurbanas tienen restricciones distintas de acceso, estacionamiento y horarios. Un programa piloto debería segmentar los tipos de entrega, registrar frecuencias, tiempos de espera, incidencias y ocupación, y evaluar resultados antes de extender la intervención. La participación de comercios, transportadores y residentes permite identificar costos ocultos que no aparecen en la facturación de la plataforma. La evidencia internacional orienta variables y alternativas, pero no autoriza afirmar que determinada modalidad ya sea superior en una ciudad colombiana sin datos locales.

La transparencia también requiere examinar cómo se comunica la sostenibilidad al consumidor. Etiquetas como entrega verde, envío neutro o empaque ecológico pueden ser ambiguas si no explican la frontera de cálculo, las compensaciones utilizadas o la proporción de material recuperado. El riesgo no se corrige únicamente agregando un sello: es necesario que la empresa conserve datos de actividad, criterios de comparación y verificaciones consistentes. Un informe debería diferenciar las reducciones físicas de emisiones de los mecanismos de compensación y evitar presentar como equivalentes una disminución de viajes y la compra de certificados. La crítica al lavado verde es especialmente pertinente cuando la promesa comercial depende de operaciones tercerizadas que la plataforma no observa directamente (Gazzola et al., 2026; Ströher et al., 2025).

CLÚSTERES LOGÍSTICOS, INFRAESTRUCTURA E INNOVACIÓN REGIONAL

La coordinación de un territorio logístico exige algo más que proximidad física entre empresas. Liashenko, Ivanov y Trushkina (2021) proponen un enfoque de clúster para una región económica de Ucrania y describen barreras institucionales, financieras, informacionales, ambientales, tarifarias, aduaneras y de infraestructura. El contexto histórico y geográfico de su estudio difiere del Caribe colombiano, pero su clasificación de obstáculos sirve para cuestionar políticas que reducen la competitividad a construir instalaciones. Un parque logístico sin servicios empresariales, articulación aduanera o intercambio confiable de información puede terminar siendo una concentración inmobiliaria de bodegas. La coordinación exige mecanismos de gobernanza y compromisos operativos, no solo una denominación de clúster.

La infraestructura de transporte también puede influir en capacidades de innovación. Medeiros, Stein, Ribeiro y Santos (2025) estudiaron relaciones entre provisión de carreteras y vínculos universidad-industria en Brasil, con un enfoque econométrico que aborda problemas de endogeneidad. Su evidencia sugiere que las conexiones físicas pueden facilitar interacciones y difusión de conocimiento. No es una prueba de que cualquier inversión vial cause automáticamente innovación en el Caribe colombiano; sí permite formular un mecanismo de interés: reducir fricciones de conexión puede ampliar la colaboración entre empresas, centros de formación y proveedores tecnológicos. Para comprobarlo localmente habría que medir no solo kilómetros construidos, sino cambios en tiempos de acceso, cooperación y proyectos conjuntos.

Un clúster logístico sostenible debería distinguir tres clases de bienes colectivos. Los bienes físicos incluyen accesos, energía, agua, conectividad y equipamientos compartidos; los bienes informacionales abarcan estándares de datos, directorios de capacidades, indicadores y sistemas de alerta; los bienes institucionales comprenden reglas de coordinación, solución de controversias y mecanismos de participación. Las inversiones deben justificarse por cuellos de botella comprobables y no por la aspiración genérica de parecerse a grandes plataformas internacionales. En territorios con mipymes dispersas, algunos bienes informacionales y organizativos pueden ofrecer beneficios antes de construir infraestructura costosa. La prioridad depende del diagnóstico de cada cadena, del horizonte de demanda y de la sostenibilidad financiera del mantenimiento (Liashenko et al., 2021; Medeiros et al., 2025).

La articulación con universidades y centros tecnológicos puede contribuir a formar capacidades de medición, gestión de inventarios y análisis de riesgos, siempre que la transferencia responda a problemas operativos concretos. Una capacitación aislada sobre herramientas digitales no transforma por sí misma los contratos ni garantiza acceso a datos. Los proyectos colaborativos requieren compromisos sobre propiedad de información, costos, beneficios y continuidad después de finalizar el financiamiento inicial. Csedó (2023) muestra que las innovaciones de sostenibilidad en redes interorganizacionales se encuentran condicionadas por diferencias de estrategia, estructura y capacidades de sus participantes. Por eso, las alianzas deben reconocer asimetrías y diseñar mecanismos de coordinación que no dependan exclusivamente de la voluntad de un actor dominante.

CONTABILIDAD AMBIENTAL, LIDERAZGO Y TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA CADENA

La digitalización sostenible no consiste en acumular sensores y plataformas, sino en producir información que modifique decisiones. Simanjuntak, Goh, Sagala, Sitanggang y Nadeak (2025) examinaron sistemas digitales de contabilidad ambiental en empresas manufactureras de Indonesia y reportaron relaciones positivas con desempeño ambiental de servicios y eficiencia logística. Su análisis mediante modelos de ecuaciones estructurales ofrece evidencia de asociación dentro de la muestra estudiada; no demuestra por sí solo que implantar el mismo sistema cause iguales efectos en el Caribe colombiano. La contribución más relevante para esta obra es la integración entre información contable, coordinación operativa y evaluación ambiental. Sin conexión con decisiones de compras, rutas o mantenimiento, el registro digital puede aumentar el trabajo administrativo sin alterar los impactos.

Pham Quang Huy y Vu Kien Phuc (2025) estudiaron el papel del liderazgo atento a cambios tecnológicos y de la contabilidad de gestión ambiental digital en la administración de cadenas circulares. Sus resultados apuntan a una relación entre liderazgo, sistemas de información y coordinación sostenible. Conviene leer esta evidencia junto con la advertencia de Csedó (2023): las organizaciones que cooperan no siempre comparten prioridades ni capacidades. Una empresa líder puede demandar información ambiental avanzada mientras sus proveedores operan con

registros manuales. Si el proyecto no incorpora asistencia, acuerdos de interoperabilidad y reglas claras sobre acceso, la tecnología puede profundizar las asimetrías que pretende resolver (Pham Quang Huy & Vu Kien Phuc, 2025; Csedó, 2023).

La arquitectura mínima de información debería integrar registros de pedidos, movimientos, combustible, energía, pérdidas, devoluciones y contratos, evitando duplicar capturas cuando los datos ya existen. Cada variable requiere un responsable, una frecuencia de actualización y controles de consistencia. Los indicadores ambientales deben estar conectados con unidades operativas verificables, y no solo con valores monetarios de facturación. Por ejemplo, una reducción de gasto en combustible puede reflejar menor precio, menor actividad o mayor eficiencia; sin kilómetros y toneladas transportadas no es posible distinguir esos mecanismos. La trazabilidad exige conservar cambios de metodología y permitir la reconstrucción de los cálculos. La interoperabilidad debe diseñarse según las capacidades reales de los participantes, no a partir de una plataforma ideal sin presupuesto de mantenimiento (Simanjuntak et al., 2025; ISO, 2023).

Un criterio de madurez digital útil distingue entre captura, integración, análisis y decisión. En la primera fase se registra información básica confiable; en la segunda se conectan procesos y actores; en la tercera se comparan escenarios; en la cuarta se incorporan resultados a contratación, inversiones y gestión de riesgos. Saltar directamente a inteligencia artificial cuando no existen datos consistentes aumenta la probabilidad de errores y falsas certezas. Toorajipour et al. (2021) identificaron diversas aplicaciones de inteligencia artificial en la gestión de cadenas, pero una revisión de tecnologías no demuestra su eficacia en cualquier empresa. El punto de partida debe ser un problema decisional delimitado, un criterio de evaluación y un mecanismo de revisión humana que permita corregir recomendaciones incompatibles con restricciones operativas o sociales.

CADENAS AGROALIMENTARIAS, PERECEDEROS Y PÉRDIDAS EVITABLES

Las cadenas agroalimentarias muestran con claridad que la logística sostenible tiene efectos sobre ingreso, seguridad alimentaria y uso de recursos. En productos perecederos, las pérdidas pueden originarse en cosecha, clasificación, almacenamiento, transporte, espera o comercialización. Una decisión aparentemente eficiente, como concentrar despachos en pocos días, puede reducir el costo unitario de transporte y aumentar el deterioro de la mercancía si no existe capacidad suficiente de conservación. La comparación debe incorporar calidad al destino, rechazos, devoluciones y precio recibido por el productor, no solo costo del flete. La discusión sobre cadenas alimentarias cortas de Galbán-Lozano et al. (2026) destaca la relevancia de gobernanza interna y educación financiera en comunidades rurales latinoamericanas, aunque su evidencia no representa la totalidad de sistemas agroalimentarios del Caribe colombiano.

La cadena de frío constituye un ejemplo de decisión interdependiente. Refrigerar puede reducir pérdidas y ampliar mercados, pero exige inversión, electricidad, mantenimiento y protocolos de manipulación. La evaluación ambiental no debería contabilizar únicamente el consumo energético de la cámara; debe compararlo con los impactos de producir alimentos que finalmente se desperdician. También importa el tiempo de espera entre eslabones, porque una mejora tecnológica en almacenamiento puede perderse durante un transbordo sin control de temperatura. Las alternativas pueden incluir programación de cosecha, embalaje apropiado, centros de consolidación o coordinación de entregas. La opción preferible depende de producto, distancia, volumen y capacidad de negociación entre productores y compradores.

En territorios con productores pequeños, la sostenibilidad contractual resulta tan importante como la eficiencia física. La incertidumbre sobre fechas de compra y condiciones de pago puede inducir despachos fragmentados, uso de intermediarios costosos y falta de inversión en conservación. Un acuerdo de suministro puede mejorar la planificación, pero también generar dependencia si establece penalidades desproporcionadas o traslada al productor todo el riesgo de rechazo. La asociatividad permite compartir instalaciones y consolidar cargas, aunque exige reglas de gobernanza, mantenimiento y distribución de costos. Los programas de fortalecimiento deberían medir estabilidad de ingresos, pérdidas, calidad del producto y continuidad comercial, en vez de considerar el número de asociaciones creadas como resultado suficiente (Galbán-Lozano et al., 2026; OECD, 2024).

La medición regional necesita distinguir pérdidas físicas de desperdicios comerciales y de diferencias normales de clasificación. Un registro útil consignaría peso despachado, peso recibido, porcentaje rechazado, causa documentada, tiempo de viaje y condiciones de conservación. Cuando los compradores modifican especificaciones de calidad, el indicador de rechazo puede

aumentar sin que haya empeorado el transporte. Por eso, la línea base debe incluir criterios de aceptación y su estabilidad durante el periodo evaluado. La comparación entre rutas debe controlar estacionalidad, condiciones climáticas y tipo de producto. Sin esos controles, un proyecto de infraestructura podría atribuirse beneficios que responden a cambios de mercado o a una cosecha de distinta composición.

ECONOMÍA CIRCULAR, LOGÍSTICA INVERSA Y RESPONSABILIDAD EXTENDIDA

La transición hacia la circularidad modifica la dirección de los flujos. Los materiales ya no se desplazan únicamente desde productores hasta consumidores; retornan para reparación, reutilización, reacondicionamiento, remanufactura o valorización. Cada alternativa requiere clasificación, trazabilidad, almacenamiento y criterios para determinar si la recuperación produce beneficios netos. El trabajo de DeMartino (2022) sobre territorios portuarios circulares invita a considerar las relaciones espaciales entre industria, ciudad y recuperación de materiales. La circularidad no es una propiedad automática de un puerto ni de un centro logístico: depende de que existan circuitos de uso, calidad de materiales, compradores y reglas de responsabilidad. La recuperación física de residuos sin mercado ni control puede convertirse en un nuevo costo ambiental.

Yanginlar et al. (2026) analizan la logística inversa en cadenas automotrices y discuten el papel de la adopción de inteligencia artificial y del apoyo directivo. Pham Quang Huy y Vu Kien Phuc (2025) estudian la relación entre liderazgo tecnológico, contabilidad ambiental digital y gestión de cadenas circulares. Ambos trabajos sitúan la coordinación organizacional como condición relevante, aunque utilizan contextos y diseños que no permiten trasladar coeficientes a empresas colombianas. En términos operativos, la recuperación exige decidir quién recoge, quién clasifica, quién paga el transporte de retorno y cómo se verifica el destino. Sin asignación contractual de esas funciones, la circularidad puede limitarse a una intención declarativa (Yanginlar et al., 2026; Pham Quang Huy & Vu Kien Phuc, 2025).

El balance ambiental de una ruta inversa depende de densidad de recolección, distancia, tasa de recuperación efectiva y calidad del material. Recoger empaques dispersos mediante vehículos con baja ocupación puede elevar las emisiones por unidad recuperada; consolidar devoluciones con viajes existentes puede reducirlas. Sin embargo, la consolidación también puede prolongar almacenamiento y aumentar pérdidas cuando el material es sensible al tiempo. Por eso, el indicador no debería ser exclusivamente el porcentaje de unidades devueltas, sino la proporción que alcanza un uso verificable y los recursos necesarios para lograrlo. El capítulo 8 de esta obra abordará las implicaciones de gestión ambiental; aquí interesa la arquitectura de transporte, información y contratos que hace posible cerrar los ciclos.

Una estrategia de circularidad inclusiva necesita reconocer a actores de recuperación que operan con capacidades tecnológicas y financieras limitadas. La exigencia de certificaciones, plataformas o trazabilidad digital puede mejorar controles, pero también excluir a organizaciones pequeñas si se implementa sin apoyo. El diseño debe separar requisitos indispensables de seguridad y calidad de aquellos que pueden alcanzarse gradualmente. Las empresas compradoras deberían explicitar precios, criterios de aceptación y responsabilidades sobre material no conforme. La inclusión no se demuestra solo mediante vinculación nominal de proveedores; debe observarse en continuidad comercial, distribución de ingresos, seguridad y acceso a capacidades de gestión (Kannan, 2018; OECD, 2024).

FINANCIACIÓN LOGÍSTICA, CAPITAL SOCIAL Y SOSTENIBILIDAD DE PROVEEDORES

La transformación logística requiere financiar activos cuya rentabilidad depende de contratos y de la continuidad de la demanda. Los proyectos de refrigeración, renovación de flota, sistemas de información o infraestructura de consolidación suelen exigir desembolsos iniciales antes de producir ahorros. La empresa debe estimar el flujo de caja disponible para atender la deuda, el costo de mantenimiento y el riesgo de que el comprador modifique condiciones comerciales. En una cadena dominada por grandes clientes, los plazos de pago pueden trasladar la financiación operativa a proveedores con menor acceso al crédito. Por ello, el diseño de instrumentos debe distinguir capital de trabajo, inversión fija, adaptación climática y gastos de verificación ambiental. Una única línea de crédito no responde necesariamente a esas necesidades (OECD, 2024; International Finance Corporation, 2023).

Maulita et al. (2026) estudiaron 110 mipymes del sector marino y pesquero de Kalimantan Oriental, Indonesia, y examinaron relaciones entre alfabetización financiera, tecnología financiera, capital social e inclusión. El estudio reportó un papel mediador relevante de la inclusión financiera y diferencias entre efectos directos de sus predictores. Su contribución para el Caribe colombiano es conceptual: la disponibilidad de servicios financieros no actúa de manera aislada, sino mediante redes, confianza y capacidades de uso. No debe extrapolarse la magnitud de sus coeficientes a pescadores, transportadores o empresas costeras colombianas. La heterogeneidad de contextos y el diseño transversal exigen prudencia al interpretar mecanismos causales.

La financiación vinculada a sostenibilidad debería condicionar incentivos a resultados que puedan verificarse sin imponer cargas desproporcionadas. Para una flota, los indicadores pueden referirse a consumo por unidad de servicio y mantenimiento; para un centro de almacenamiento, a pérdidas evitadas y energía utilizada; para una red de proveedores, a calidad de datos y condiciones de pago. Deben fijarse líneas base, métodos de cálculo y reglas de revisión antes del desembolso. Un indicador que mejora por caída de ventas no demuestra necesariamente progreso ambiental; uno que empeora por expansión del servicio puede ocultar ganancias de intensidad. La evaluación debe mostrar ambos resultados y documentar las causas (ISO, 2023; Salonitis et al., 2026).

La sostenibilidad financiera de las mipymes proveedoras constituye una dimensión del desempeño de la cadena. Una empresa puede obtener una certificación ambiental a costa de imponer gastos a sus contratistas, debilitando su liquidez y elevando la rotación de proveedores. Las compras responsables requieren considerar precio, plazos, previsibilidad de pedidos, distribución de riesgos y apoyo a la mejora. Kannan (2018) ofrece una base para integrar criterios de múltiples interesados en selección de proveedores, pero los pesos concretos deberían negociarse y justificarse en cada sector. El propósito es evitar que los estándares de sostenibilidad se conviertan en barreras comerciales opacas que favorezcan únicamente a quienes ya cuentan con recursos para documentar su desempeño.

GOBERNANZA DE REDES, COORDINACIÓN Y CALIDAD DE LAS ALIANZAS

Las cadenas logísticas son redes de decisiones parcialmente autónomas. Cada organización define inversiones, horarios, sistemas y criterios de riesgo, mientras depende de decisiones ajenas para cumplir el servicio. Csedő (2023) analizó procesos de cambio sostenible en redes de innovación interorganizacional y mostró que la colaboración se ve condicionada por diferencias de estrategia, estructura y capacidades. Su aporte permite cuestionar la idea de que un convenio entre actores produce por sí solo coordinación efectiva. Las alianzas necesitan objetivos delimitados, reglas de intercambio, mecanismos de solución de conflictos y capacidad para adaptar el alcance cuando las condiciones cambian. En el Caribe colombiano, esas condiciones deben diseñarse a partir de cadenas específicas, no de una categoría abstracta de cooperación empresarial.

Una gobernanza viable puede organizarse mediante acuerdos sobre datos, operación y distribución de costos. Los acuerdos de datos especifican variables, periodicidad, acceso, confidencialidad y responsabilidad por errores; los operativos establecen niveles de servicio, contingencias y canales de comunicación; los financieros definen inversiones compartidas, pagos y reparto de beneficios. Estas dimensiones no son intercambiables. Una plataforma de información no resuelve un conflicto contractual sobre tiempos de espera; una mesa de diálogo no reemplaza procedimientos para corregir registros defectuosos. La evaluación de la alianza debería comprobar si las decisiones adoptadas modificaron tiempos, pérdidas, emisiones o continuidad de proveedores, y no limitarse a contar reuniones y participantes (Csedő, 2023; Ströher et al., 2025).

La participación de mipymes exige mecanismos específicos para reducir asimetrías. Cuando los operadores mayores concentran información sobre demanda, precios o desempeño, los pequeños proveedores pueden aceptar inversiones que no recuperarán durante la vigencia del contrato. Los acuerdos deberían incluir horizontes razonables, acceso a información necesaria para planificar y reglas transparentes de terminación. También pueden prever asistencia técnica compartida y procedimientos proporcionales de reporte. La meta no es eliminar toda diferencia entre actores, sino impedir que la sostenibilidad de la cadena se mida exclusivamente desde el balance del agente dominante. La continuidad de los proveedores y la calidad del empleo son resultados relevantes que deben entrar en la discusión de desempeño (OECD, 2024; Kannan, 2018).

La coordinación territorial requiere reconocer escalas institucionales distintas. Las decisiones sobre un corredor de acceso pueden involucrar autoridades municipales, departamentos,

concesionarios, transportadores y empresas de carga; las relacionadas con puertos incluyen además autoridades marítimas y operadores. Un modelo de gobernanza debe identificar qué actor puede modificar cada variable y cuáles dependen de acuerdos multilaterales. Sin ese mapa de atribuciones, los planes terminan asignando a una entidad metas que no controla. La evidencia sobre clústeres y redes interorganizacionales apoya la necesidad de arreglos explícitos, pero la forma concreta debe surgir de competencias legales y condiciones organizativas del territorio (Liashenko et al., 2021; De Martino, 2022).

SISTEMA DE INDICADORES Y CRITERIOS PARA UNA EVALUACIÓN TERRITORIAL RIGUROSA

La evaluación de una cadena sostenible requiere un sistema de indicadores que preserve la relación entre medios, actividades, resultados e impactos. Los indicadores de insumo registran recursos invertidos y capacidades disponibles; los de proceso, tiempos, utilización y cumplimiento de protocolos; los de resultado, cambios verificables en pérdidas, emisiones, confiabilidad y costos; los de impacto, efectos territoriales que suelen requerir horizontes y diseños de evaluación más exigentes. Abate et al. (2025) advierten sobre la desconexión entre metas, recursos y reportes en autoridades portuarias italianas. La lección para una agenda regional es construir trazabilidad entre presupuesto y desempeño, sin presentar el cumplimiento de actividades como prueba suficiente de transformación sostenible.

El primer principio es la comparabilidad. No deben mezclarse toneladas movilizadas, tonelada-kilómetro, contenedores, entregas y valor monetario sin explicar las diferencias de servicio. El segundo es la desagregación: puertos, rutas, tipos de carga y tamaños empresariales tienen perfiles de riesgo distintos. El tercero es la trazabilidad: cada cifra debe asociarse a fuente, fecha, método, cobertura y responsable. El cuarto es la consistencia temporal: cambios de factor de emisión, frontera de cálculo o unidad de negocio deben quedar registrados. El quinto es la transparencia sobre incertidumbre: los resultados modelados se presentan como estimaciones y no como mediciones directas. Estas reglas son compatibles con ISO 14083:2023 y con las advertencias metodológicas de Salonitis et al. (2026).

Para emisiones conviene reportar valores absolutos y relativos, además de la cobertura de información. Para desempeño económico deben combinarse costo por unidad, variabilidad de tiempos y costos de contingencia. Para dimensión social se requieren indicadores de seguridad, condiciones de contratación y continuidad de proveedores. Para circularidad, recuperación efectiva y destino verificable de materiales. Para resiliencia, tiempo de recuperación y porcentaje de servicios críticos mantenidos durante interrupciones. Ningún indicador aislado expresa sostenibilidad completa. Un tablero de control debe facilitar la lectura de tensiones: reducir inventarios puede elevar exposición a fallas; aumentar ocupación de vehículos puede requerir mayor coordinación y tiempos de espera; ampliar proveedores puede disminuir dependencia y aumentar costos de transacción.

La interpretación causal exige especial cuidado. Si una empresa instala un sistema de planificación y reduce consumo de combustible, el cambio puede coincidir con una menor demanda, un precio diferente o una modificación de rutas. Una evaluación descriptiva puede mostrar la variación, pero no atribuirla con certeza al sistema. Para aproximarse a efectos atribuibles se necesitan comparadores, registros previos y posteriores, controles de estacionalidad y análisis de alternativas plausibles. Los proyectos territoriales deberían prever la evaluación desde su diseño, porque reconstruir líneas base después de invertir suele ser costoso e incompleto. La transparencia metodológica es más valiosa que una precisión numérica aparente sin respaldo documental (World Bank, 2023; Osorio-Tejada et al., 2024).

Una dimensión adicional de la descarbonización es la persistencia de trayectorias intensivas en energía. Fang, Luo y Luo (2025) examinaron las emisiones del sector logístico en tres provincias del curso medio del río Yangtsé durante 2001–2021 y describieron un efecto de dependencia de carbono asociado con la estructura energética y el desarrollo regional. Su estudio no proporciona un coeficiente transferible al Caribe colombiano, pero permite identificar una tensión: las inversiones en infraestructura, flotas y servicios pueden consolidar patrones tecnológicos durante décadas. Evaluar únicamente el ahorro inmediato de combustible puede favorecer decisiones que se vuelven costosas de revertir cuando cambian los precios energéticos o las exigencias ambientales. La planificación territorial debería comparar horizontes de vida útil, opciones de reconversión y riesgos de activos varados, sin asumir que todas las empresas disponen de la misma capacidad financiera para cambiar de tecnología. Esta lectura complementa la evaluación de ciclo de vida y los escenarios de adaptación discutidos anteriormente (Fang et al., 2025; Osorio-Tejada et al.,

2024).

DISCUSIÓN INTEGRADORA Y PRIORIDADES PARA EL CARIBE COLOMBIANO

La evidencia revisada permite identificar un problema común: la transición logística se presenta con frecuencia como una suma de soluciones técnicas, cuando en realidad depende de relaciones entre infraestructura, contratos, información y capacidades empresariales. La investigación sobre ciclo de vida de transporte con aplicación en Colombia muestra la importancia de ampliar fronteras ambientales (Osorio-Tejada et al., 2024); los estudios de alcance 3 evidencian dificultades de asignación y datos (Salonitis et al., 2026); y los análisis de autoridades portuarias cuestionan la separación entre metas declaradas y recursos efectivamente invertidos (Abate et al., 2025). Estos aportes no son intercambiables: responden a unidades de análisis y métodos diferentes. Su integración requiere explicitar qué problema aborda cada uno y cuáles aspectos permanecen sin evidencia local.

La primera prioridad territorial consiste en construir líneas base comparables para corredores y cadenas seleccionadas. Sin mediciones de distancias, cargas, tiempos, energía y pérdidas no es posible decidir con rigor entre consolidación, renovación de flota, almacenamiento o cambios de contratación. La segunda es fortalecer la coordinación de datos entre actores sin trasladar toda la carga administrativa a proveedores pequeños. La tercera es incorporar resiliencia climática y continuidad de servicio a los análisis de inversión. La cuarta es evaluar la sostenibilidad de las relaciones contractuales y la distribución de costos de transición. Estas prioridades no constituyen un ranking empírico de necesidades regionales; son una secuencia analítica para organizar diagnósticos y decisiones (ISO, 2023; Csedő, 2023; OECD, 2024).

El Caribe colombiano reúne sistemas logísticos heterogéneos que no deben reducirse al movimiento de carga portuaria. La distribución urbana, las cadenas agroalimentarias, el comercio exterior, los servicios turísticos y los flujos de recuperación de materiales requieren indicadores y arreglos específicos. La estadística portuaria confirma una concentración relevante de movimiento nacional en la región, pero no permite atribuir beneficios a empresas o comunidades particulares (Superintendencia de Transporte, 2025a). Las experiencias internacionales de puertos, comercio electrónico y cadenas circulares ofrecen hipótesis y procedimientos, no resultados regionales transferibles de forma automática (De Martino, 2022; Gazzola et al., 2026; Pham Quang Huy & Vu Kien Phuc, 2025).

La contribución del capítulo es proponer una lectura de la logística sostenible como capacidad territorial de coordinar flujos físicos, información y responsabilidades. Bajo este enfoque, la competitividad no se evalúa únicamente por volumen o velocidad, sino por la posibilidad de prestar servicios confiables con costos, impactos y riesgos explícitos. La Agenda 2030 funciona como marco de articulación entre productividad, trabajo decente, infraestructura, consumo responsable y acción climática; no reemplaza la necesidad de indicadores verificables. El paso siguiente para la investigación regional consiste en contrastar estas relaciones con datos empresariales, portuarios y territoriales, documentando diferencias por actividad y tamaño de organización. El resultado esperado no es una clasificación uniforme de empresas verdes, sino evidencia que permita comparar decisiones y corregir políticas.

EVIDENCIA COLOMBIANA RECIENTE: ESTRUCTURA DE COSTOS Y BRECHAS POR TAMAÑO EMPRESARIAL

La Encuesta Nacional Logística 2024, presentada por el Departamento Nacional de Planeación en noviembre de 2025, ofrece un contraste empírico colombiano que complementa los marcos internacionales revisados. Según el DNP (2025), el costo logístico nacional representó el 15,6 % de las ventas en 2024, frente al 17,9 % registrado para 2022. La comparación muestra una reducción de 2,3 puntos porcentuales del indicador agregado, pero no permite afirmar, sin un análisis adicional, que todas las empresas hayan reducido sus costos monetarios o que la disminución provenga de medidas ambientales. El denominador es la facturación: cambios en precios, composición sectorial y actividad pueden modificar la proporción observada. Por ello, el indicador nacional debe utilizarse como contexto y no como sustituto de una contabilidad operativa por cadena, empresa o ruta.

La composición del costo logístico también aporta una base para priorizar preguntas de investigación. En la ENL 2024, el transporte representó el 44,5 % del costo logístico, el

almacenamiento el 22,4 % y los inventarios el 17,7 %; los componentes administrativos y otros gastos explicaron el resto (DNP, 2025). Estos porcentajes corresponden a la estructura agregada reportada por la encuesta, no a la estructura universal de cada negocio. En una empresa exportadora de mercancías pesadas puede dominar el flete; en un distribuidor de perecederos, las pérdidas y la conservación; en un comercio urbano, el costo de última milla y devoluciones. Las decisiones deberían partir de la descomposición de costos específica y después comparar alternativas con criterios de servicio, resiliencia e impacto ambiental.

La desagregación por tamaño empresarial revela una tensión distributiva importante. El DNP (2025) reportó costos logísticos equivalentes al 16,3 % de las ventas en microempresas, 14,1 % en pequeñas, 10,6 % en medianas y 11 % en grandes. Estas diferencias no demuestran que el tamaño cause por sí solo una determinada eficiencia, porque los sectores, productos y mercados pueden tener composiciones distintas. Sin embargo, sugieren la necesidad de investigar si las economías de escala, el acceso a infraestructura, la capacidad de negociación y los sistemas de información están asociados con costos diferenciados. Una política que evalúe exclusivamente el promedio nacional puede dejar fuera las barreras de los actores que disponen de menos recursos para invertir en digitalización o consolidación de carga.

La ENL 2022 había registrado un costo logístico del 17,9 % y una estructura en la cual el transporte representaba el 35,9 % del costo, los inventarios el 25,5 % y el almacenamiento el 25,1 % (DNP, 2023). El contraste con 2024 exige precaución: una variación en participaciones de componentes no equivale a un aumento o disminución absoluta de cada rubro, y debe interpretarse a la luz de los instrumentos, definiciones y composición de la encuesta. Además, las empresas pueden sustituir costos entre transporte, almacenamiento e inventarios. Reducir inventarios puede aumentar despachos y costo de fletes; consolidar entregas puede elevar tiempos de espera.

El diseño de intervenciones debería evaluar el costo logístico total y no declarar éxito a partir de la reducción aislada de un componente. El valor de estos datos para el Caribe colombiano reside en establecer una agenda de desagregación. Los indicadores nacionales permiten situar el problema, pero no ofrecen automáticamente un diagnóstico de cada puerto, ciudad o cadena. El estudio regional necesita distinguir tamaño empresarial, actividad económica, tipo de mercancía, frecuencia de despacho y grado de tercerización. También debe incorporar información sobre disponibilidad de proveedores, tiempos de acceso, pérdidas, devoluciones y contratos. Solo entonces sería posible evaluar si las diferencias responden a localización, especialización productiva, prácticas de gestión o condiciones de infraestructura. La combinación de ENL con registros portuarios y levantamientos empresariales debe documentar sus diferencias de universo y periodo para evitar inferencias indebidas (DNP, 2025; Superintendencia de Transporte, 2025a).

CARIBE CENTRAL, DIGITALIZACIÓN E INCLUSIÓN EN LA POLÍTICA LOGÍSTICA

El Departamento Nacional de Planeación (2025) señaló que la región Caribe Central, integrada por Atlántico, Magdalena y Bolívar en la regionalización de la ENL 2024, se destacó en el índice de desempeño logístico regional. Este resultado es relevante porque introduce una dimensión territorial dentro de una encuesta empresarial nacional. Sin embargo, la posición de una región agregada no permite clasificar el desempeño individual de Barranquilla, Cartagena, Santa Marta ni de sus empresas. Tampoco debe extenderse sin justificación a todos los departamentos del Caribe colombiano. La interpretación requiere conocer los componentes del índice, su ponderación y las diferencias de estructura productiva. La ventaja comparativa reportada puede coexistir con cuellos de botella en cadenas específicas o con desigualdades entre empresas de una misma región.

La digitalización ofrece un ejemplo de por qué los indicadores de adopción necesitan contexto. La presentación de resultados de la ENL 2024 informó que el 23,4 % de las empresas utilizaba rastreo y seguimiento de pedidos en sus procesos logísticos (DNP, 2025). Este dato describe una práctica declarada en la población cubierta por la encuesta; no mide por sí solo la calidad del sistema, su interoperabilidad ni sus efectos sobre costos y emisiones. Una empresa puede disponer de seguimiento de pedidos sin compartir información con transportadores o sin registrar consumos de combustible. A la inversa, una organización pequeña puede coordinar entregas con registros sencillos y obtener mejoras operativas antes de adoptar sistemas sofisticados. El criterio de política debe ser la capacidad de utilizar datos para decidir y verificar resultados, no la mera posesión de herramientas.

El mismo reporte nacional registró participación femenina del 45,7 % entre las personas

vinculadas al sector logístico y señaló que el 41,9 % de las empresas encuestadas estaban dirigidas por mujeres; únicamente el 12,8 % reportó programas de equidad de género (DNP, 2025). Estos porcentajes describen dimensiones distintas y no deben mezclarse: empleo femenino, dirección empresarial y adopción de programas organizacionales. La discusión sobre trabajo decente necesita ir más allá de la participación nominal e incluir ocupaciones, estabilidad contractual, condiciones de seguridad, remuneración y acceso a cargos de decisión. Una empresa puede mejorar su indicador de contratación femenina sin corregir barreras en promoción o distribución de tareas. Las políticas de sostenibilidad logística deberían evaluar resultados diferenciados por función y tamaño empresarial, con respeto a la confidencialidad de las personas.

La conexión entre inclusión y competitividad es especialmente importante para proveedores de menor escala. La digitalización y los estándares de reporte pueden reducir incertidumbre contractual, pero su costo inicial puede resultar proporcionalmente mayor para microempresas. Una política territorial de transición debería combinar herramientas compartidas, formación aplicada y acuerdos con compradores que permitan recuperar inversiones. El seguimiento de pedidos podría vincularse gradualmente con registro de pérdidas, trazabilidad de devoluciones y cálculo de emisiones, siempre que exista una necesidad operativa identificada. La información sobre participación femenina y diferencias por tamaño empresarial sugiere incorporar indicadores de acceso y calidad de oportunidades, en lugar de asumir que toda innovación tecnológica distribuye beneficios de manera uniforme (DNP, 2025; OECD, 2024).

El Boletín Portuario de la Superintendencia de Transporte aporta un contraste temporal que refuerza la necesidad de no depender de un solo corte anual. Entre enero y marzo de 2025, las zonas portuarias colombianas movilizaron 45,3 millones de toneladas y el Caribe concentró 38,6 millones, equivalentes al 85,4 % (Superintendencia de Transporte, 2025b). La participación difiere del 87,1 % informado para el conjunto de 2024, pero los periodos no son equivalentes: un trimestre no puede compararse directamente con un año para inferir una tendencia estructural. También cambian los tipos de carga y las dinámicas estacionales. Una evaluación regional debería construir series homogéneas, distinguir comercio internacional, transbordo y cabotaje, y contrastar variaciones de volumen con tiempos, costos y emisiones.

Los registros portuarios y la ENL responden a universos distintos. Los primeros contabilizan movimientos reportados por sociedades portuarias y permiten desagregar por zonas y tipos de tráfico; la segunda recoge información de empresas sobre costos, prácticas y desempeño logístico. La integración de ambos sistemas requiere un diseño que reconozca sus unidades de observación y evite correlaciones ecológicas. Una mayor participación de carga en un puerto no demuestra menores costos de las microempresas de su ciudad, del mismo modo que una mejora del indicador regional no acredita reducciones de emisiones en todas las rutas. La utilidad analítica reside en combinar evidencia institucional, datos operativos y observación empresarial para identificar mecanismos verificables, no en construir relaciones causales a partir de cifras agregadas (DNP, 2025; Superintendencia de Transporte, 2025b).

HUELLA DE CARBONO EN TERMINALES DEL CARIBE COLOMBIANO: EVIDENCIA Y LÍMITES DE TRANSFERENCIA

La literatura reciente permite abandonar una representación abstracta de los puertos verdes y examinar intervenciones localizadas. CentanaroAcuña et al. (2023) estudiaron la huella de carbono de Palermo Sociedad Portuaria, en el Caribe colombiano, con referencia a los años 2019 y 2020 y medidas de mitigación examinadas posteriormente. El trabajo identifica acciones diferenciadas: ajustes operativos para reducir consumo de combustible, compostaje de residuos orgánicos y uso experimental de polvo de roca. Su principal contribución no es demostrar que cualquier terminal obtendrá los mismos resultados, sino mostrar que una intervención ambiental exige inventario inicial, identificación de focos emisores, estimación de resultados y seguimiento de medidas efectivamente implementadas. Para una terminal caribeña, la gestión ambiental debería partir de los consumos por equipo, maniobra, hora de operación y tipo de carga, sin mezclar reducciones observadas con potenciales de reducción proyectados.

El estudio de Palermo Sociedad Portuaria también ofrece una advertencia metodológica. CentanaroAcuña et al. (2023) informan magnitudes diferentes para la disminución atribuida a cambios en equipos y para el potencial anual asociado a intervenciones específicas. Esas cifras no pueden sumarse automáticamente porque sus horizontes, alcances y bases de cálculo no son necesariamente idénticos. Una evaluación empresarial rigurosa debe separar ahorro de combustible, emisiones evitadas, secuestro potencial de carbono, tratamiento de residuos y

compensaciones externas. Cuando un proyecto combina mecanismos físicos y contables, la trazabilidad del dato determina si el resultado es reproducible. La relevancia territorial de este caso reside, por tanto, en su lógica de evaluación y no en convertir una experiencia de una sociedad portuaria en una media estadística para Cartagena, Barranquilla, Santa Marta o La Guajira.

Pabón-Noguera et al. (2024) compararon terminales de contenedores de América Latina y el Caribe mediante un procedimiento multicriterio que combina análisis de componentes principales y TOPSIS, empleando variables de capacidad, infraestructura y movimiento de contenedores. Este aporte permite discutir la competitividad como fenómeno multidimensional: una terminal con alto volumen de TEU no necesariamente ofrece la misma productividad por recurso instalado ni la misma conectividad efectiva. Sin embargo, el estudio está diseñado para comparar desempeño logístico, no para estimar automáticamente impactos ambientales o bienestar de comunidades aledañas. La interpretación sostenible debe añadir indicadores de consumo energético, contaminación atmosférica, exposición a ruido, accidentes y empleo. El uso de técnicas de clasificación es defendible siempre que la selección de criterios, los pesos y la calidad de los datos sean transparentes.

En un análisis específico de Santa Marta, Pabón Noguera et al. (2025) relacionaron la competitividad de la terminal con conectividad terrestre, condiciones naturales, infraestructura y oportunidades de carga agroexportadora. La existencia de ventajas de calado o proximidad no elimina las restricciones de acceso vial, la necesidad de mantener la cadena de frío ni los conflictos entre flujos de carga de distinta naturaleza. El contraste entre los dos estudios de Pabón y colaboradores ayuda a distinguir una evaluación regional comparativa de un diagnóstico situado. En el Caribe colombiano, las estrategias de sostenibilidad deben incorporar esta doble escala: comparación entre nodos portuarios y seguimiento específico de cada corredor productivo. Una política diseñada exclusivamente para maximizar TEU podría invisibilizar el costo de la congestión urbana o la fragilidad de los proveedores de menor escala.

EVALUACIÓN DE PUERTOS VERDES, DESEMPEÑO AMBIENTAL Y GOBERNANZA DE INVERSIONES

Karagkouni y Boile (2024) organizaron un amplio conjunto de prácticas portuarias verdes en categorías que incluyen suministro eléctrico desde tierra, combustibles alternativos, eficiencia energética, gestión de residuos, protección de biodiversidad y sistemas de seguimiento ambiental. Su clasificación muestra que la etiqueta de puerto verde comprende decisiones tecnológicas, organizacionales y regulatorias muy distintas. En consecuencia, una terminal que instale paneles solares no puede considerarse equivalente a otra que reduzca emisiones de buques atracados o mejore la calidad del agua. Para evaluar prioridades en el Caribe colombiano conviene identificar primero qué actividades están bajo control de la sociedad portuaria y cuáles dependen de navieras, operadores terrestres, autoridades públicas o generadores de carga. Esta separación evita atribuciones de resultados que exceden la esfera de decisión del actor que reporta.

Bulak (2024) desarrolló una aproximación de frontera para examinar ecoeficiencia de grandes puertos con insumos ambientales y resultados operativos. La utilidad del enfoque es que permite contrastar combinaciones de recursos y desempeño, en lugar de premiar de forma automática al puerto con mayor escala. No obstante, las puntuaciones relativas dependen del conjunto de unidades comparadas, del período de observación y de los indicadores elegidos. El estudio no demuestra que exista una clasificación ambiental universal ni que un puntaje relativo sustituya un inventario de emisiones auditado. Para la gestión regional, una comparación de eficiencia debería complementarse con análisis de condiciones iniciales, heterogeneidad de carga, composición energética y afectaciones de las comunidades. La aparente eficiencia de un nodo puede trasladar externalidades hacia municipios vecinos o empresas subcontratadas.

La modelación de transporte pesado en terminales no contenerizadas realizada por Lagha et al. (2024) muestra por qué la interacción entre operación y emisiones necesita métodos capaces de representar colas, recorridos y decisiones de asignación. No basta con multiplicar una distancia promedio por un factor genérico si los vehículos permanecen encendidos durante esperas prolongadas o ejecutan maniobras repetidas. La investigación constituye una referencia internacional de método, no una medición del Caribe colombiano. Su transferencia exigiría observar tiempos reales de ingreso y salida, distribución de turnos, tipo de motor, combustible y tasa de ocupación. De allí se deriva una prioridad práctica: vincular los sistemas de citas, patios y control de acceso con indicadores de emisiones por operación, de manera que la reducción de congestión sea medible y no solo percibida.

El Banco Mundial (2025), en su actualización del Port ReformToolkit, subraya que las transformaciones portuarias involucran arreglos entre actores públicos y privados, condiciones laborales, inversiones y responsabilidades de regulación. La descarbonización portuaria puede fracasar cuando la tecnología se incorpora sin mecanismos para distribuir costos y beneficios entre terminal, transportadores, clientes y territorio. Una agenda de inversión debe especificar quién financia infraestructura eléctrica, quién asume costos de conexión, quién conserva datos y cómo se distribuyen los ahorros. También requiere procedimientos de consulta con comunidades afectadas, trazabilidad contractual y salvaguardas laborales. En ese sentido, la gobernanza de la transición no es un complemento discursivo de la ingeniería logística: es una condición de implementación y de sostenibilidad institucional.

CONTABILIDAD DE EMISIONES Y COMPARABILIDAD ENTRE OPERADORES

El Greenhouse Gas Protocol (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2011) estableció criterios para identificar emisiones indirectas a lo largo de la cadena de valor, incluyendo categorías de transporte y distribución. La lógica de alcance 3 obliga a reconocer que el operador que contrata un servicio puede no poseer el vehículo que emite, pero conserva responsabilidades de medición y gestión sobre su cadena. Esta distinción es particularmente importante en corredores donde participan empresas de transporte pequeñas, intermediarios y plataformas de coordinación. La medición no debe duplicarse al agregar inventarios de múltiples empresas como si se tratara de emisiones territoriales independientes: una misma operación puede aparecer en el alcance 1 de un transportador y en el alcance 3 de un cliente. La conciliación exige límites explícitos y reglas de agregación.

Smart Freight Centre (2023) presentó el GLEC Framework 3.0 como guía de contabilidad de emisiones logísticas alineada con ISO 14083. Su aporte práctico consiste en armonizar unidades de actividad, tramos de transporte, centros logísticos y datos de consumo para obtener resultados comparables. No obstante, adoptar una metodología no elimina los vacíos de información. Cuando un operador desconoce combustible real, distancia efectiva o factor de carga, la estimación depende de supuestos y factores secundarios que deben declararse. En el Caribe colombiano, una ruta de madurez razonable comenzaría con identificación de trayectos, modo y carga, seguiría con registros de combustible y culminaría en intercambios verificables de datos primarios entre empresas. El estándar debe funcionar como mecanismo de mejora de calidad de información, no como certificado automático de desempeño ambiental.

Mao et al. (2025) analizaron las emisiones globales de la navegación entre 2016 y 2023 y documentaron una tensión crucial: la mejora de intensidad de carbono de la flota puede coexistir con aumentos de emisiones absolutas. Esto significa que un puerto o naviera no debería informar exclusivamente kilogramos de CO₂ equivalente por tonelada-kilómetro sin revelar el crecimiento de la actividad total. Una reducción relativa del indicador puede resultar insuficiente si el volumen transportado aumenta más rápido. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024) sitúa este problema en el contexto de la brecha global de emisiones y de la necesidad de reducciones reales por sector. En la práctica, la evaluación debe reportar simultáneamente emisiones absolutas, intensidad, volumen de carga y cambios metodológicos, de modo que no se confunda eficiencia con descarbonización efectiva.

Herianti y Marundha (2026), a partir de empresas de transporte y logística de Indonesia, analizaron la relación entre divulgación climática, exposición tributaria al carbono y volatilidad de resultados. La evidencia proviene de otro marco regulatorio y no permite predecir los efectos de un eventual instrumento tributario en Colombia. Sí aporta una pregunta estratégica: ¿cómo cambian las decisiones financieras cuando una empresa hace visibles sus riesgos ambientales? La divulgación puede mejorar información para inversionistas y, al mismo tiempo, exponer pasivos o necesidades de inversión previamente ocultos. Una transición ordenada debería conectar inventarios de emisiones con análisis de sensibilidad, costo de capital y contratos de largo plazo. La transparencia sin capacidad de respuesta gerencial no garantiza una mejora inmediata del resultado financiero.

COMBUSTIBLES MARINOS, ELECTRIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA

La Organización Marítima Internacional (2023) adoptó una estrategia que plantea emisiones netas de gases de efecto invernadero cercanas a cero hacia 2050 y puntos de control indicativos

para 2030 y 2040, tomando 2008 como referencia. Su alcance corresponde al transporte marítimo internacional, por lo que no debe confundirse con una meta individual de reducción para cada puerto colombiano. Sin embargo, modifica las expectativas de infraestructura de suministro energético, información sobre combustibles y servicios a buques. La preparación territorial debe anticipar demanda potencial, seguridad industrial, capacidad de la red eléctrica y formación del talento humano. Las inversiones en combustible alternativo no se justifican únicamente por la existencia de un objetivo internacional: requieren evaluar rutas, tipos de buques, contratos de abastecimiento, riesgos tecnológicos y posibles usos alternativos del capital.

Cho et al. (2025) examinaron cómo los estándares de intensidad de gases de efecto invernadero de combustibles marítimos y las mejoras operativas se relacionan con trayectorias de descarbonización. El estudio insiste en medir emisiones desde la producción del combustible hasta su utilización, porque una aparente reducción a bordo puede ocultar impactos importantes en la generación de energía. Este criterio es central para evaluar hidrógeno, amoníaco, metanol y otros portadores energéticos. En una región con oportunidades renovables y restricciones de infraestructura, la pregunta pertinente no es cuál combustible se anuncia como más moderno, sino cuál cadena de suministro puede producirlo, transportarlo, almacenarlo y utilizarlo con reducciones demostrables y riesgos controlados. La contabilidad de ciclo de vida debe preceder las declaraciones comerciales de neutralidad.

Fun Sang Cepeda et al. (2025) estudiaron la preparación de puertos brasileños como posibles nodos de abastecimiento de combustibles marítimos renovables. Sus resultados permiten formular hipótesis para el Caribe colombiano sobre articulación entre puertos, generación renovable y rutas internacionales, pero no autorizan afirmar que un puerto colombiano tenga hoy las mismas condiciones de viabilidad. La comparación exige evaluar acceso a energía, agua, suelo, permisos, seguridad y demanda contratada. El atractivo de una inversión puede variar por tipo de combustible, distancia de distribución y disponibilidad de compradores. La experiencia brasileña es útil como matriz de preguntas para estudios de prefactibilidad regional y para evitar que las decisiones de política se reduzcan a replicar anuncios de corredores verdes sin soporte técnico y económico.

Comer et al. (2024) documentaron emisiones fugitivas y metano no quemado en buques que utilizan gas natural licuado. La relevancia de este resultado es que un combustible puede reducir ciertos contaminantes locales y, sin embargo, conservar impactos climáticos significativos si se incluyen fugas y combustión incompleta. Para operadores que estudien nuevas tecnologías, la evaluación debe considerar emisiones de CO₂, metano, contaminantes atmosféricos, disponibilidad de combustible y exposición a futuras reglas. La Agencia Internacional de Energía (2025), al analizar escenarios de movilidad eléctrica, recuerda que las trayectorias de adopción tecnológica dependen de políticas, costos e infraestructura y no deben interpretarse como predicciones garantizadas. En el transporte terrestre de apoyo a puertos, electrificar flotas sin estudiar ciclos de servicio, recarga y confiabilidad de suministro puede trasladar costos sin resolver cuellos de botella.

CHOQUES GLOBALES, CONFIABILIDAD Y RIESGOS DE LA RED REGIONAL

UNCTAD (2025) describe un comercio marítimo sometido a desvíos de rutas, volatilidad de fletes y mayor exposición a interrupciones. El indicador de toneladas transportadas no refleja por sí solo los cambios en distancia recorrida, por lo que resulta útil complementarlo con toneladas-milla, frecuencia de servicios y confiabilidad de itinerarios. Para las empresas del Caribe colombiano, el riesgo se transmite por contratos de importación, inventarios, disponibilidad de insumos y cumplimiento de exportaciones. Una empresa puede mantener el mismo volumen de ventas y sufrir un deterioro relevante de liquidez cuando se alargan los tiempos de tránsito. La resiliencia no debería medirse solo por recuperación física después de un evento, sino también por la capacidad de mantener compromisos comerciales, empleo y acceso a mercados en condiciones adversas.

Barleta et al. (2025) documentan para América Latina y el Caribe la combinación de recuperación portuaria, disrupciones internacionales y cambios en las condiciones de los servicios de contenedores. Saade Hazin (2026) actualiza el análisis con atención a fiabilidad, fletes, transbordo, resiliencia climática y financiación de infraestructura. La lectura conjunta de ambos informes permite separar cambios coyunturales de problemas estructurales: un aumento transitorio del costo del flete no equivale a una pérdida permanente de capacidad portuaria, mientras que una dependencia excesiva de pocos servicios puede amplificar los efectos de

una crisis global. En el Caribe colombiano conviene estudiar, por corredor, la disponibilidad de alternativas de salida, la concentración de operadores y la exposición de productos perecederos a retrasos.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2025) mantiene series comparables de movimiento de contenedores por puertos de la región. Estos registros son útiles para examinar jerarquías, cambios de escala y participación relativa, siempre que se respete la unidad TEU, el período y la cobertura de terminales. No permiten, por sí solos, inferir calidad del empleo, emisiones o bienestar urbano. La comparación con las cifras de la Superintendencia de Transporte exige especial cuidado, porque las estadísticas pueden referirse a universos y conceptos distintos, como toneladas de carga y contenedores equivalentes. Una matriz territorial rigurosa debe documentar fuente, año, unidad, clasificación de tráfico y eventuales revisiones. La comparabilidad es una condición previa a cualquier interpretación causal sobre competitividad regional.

La consecuencia gerencial es que los sistemas de alerta logística necesitan combinar señales de diferente frecuencia. Los datos de comercio exterior pueden actualizarse por mes, mientras que decisiones de mantenimiento y capacidad dependen de registros operativos diarios. La información climática y la situación de rutas internacionales añaden otra escala temporal. UNCTAD (2025) y Saade Hazin (2026) respaldan la necesidad de observar confiabilidad y exposición a interrupciones, pero no sustituyen datos empresariales de inventario, entregas fallidas o costos de emergencia. Una arquitectura de seguimiento regional debería establecer responsables de captura, reglas de calidad, indicadores anticipatorios y protocolos para comunicar riesgos a proveedores pequeños, que suelen disponer de menor margen financiero para absorber demoras.

CADENAS AGROALIMENTARIAS, TRANSPORTE TERRESTRE Y DISTRIBUCIÓN DE BENEFICIOS

La FAO (2019) advierte que las pérdidas de alimentos deben identificarse por producto y eslabón, porque las intervenciones no tienen efectos idénticos sobre ingresos, disponibilidad alimentaria y ambiente. Para el Caribe colombiano, esto obliga a diferenciar cadenas de frutas, productos refrigerados, granos y bienes procesados. Una inversión en cadena de frío puede reducir deterioro físico, pero su balance ambiental depende del refrigerante, la energía utilizada, la ocupación de vehículos y la duración del almacenamiento. El indicador de toneladas desperdiciadas evitadas debe acompañarse de costos y consumo energético adicionales. La selección de tecnología requiere una línea base que distinga pérdidas en finca, poscosecha, transporte, almacenamiento y distribución; de otro modo, se corre el riesgo de invertir en un eslabón distinto del que concentra el problema.

La Agencia Internacional de Energía (2025) presenta escenarios de electrificación del transporte por tipo de vehículo y región, incluidos segmentos de carga. Estos escenarios no son estimaciones de adopción para Colombia, pero ayudan a identificar condiciones habilitantes: acceso a financiación, infraestructura de carga, regulación y costo total de propiedad. En corredores cortos y repetitivos pueden surgir oportunidades diferentes de las de transporte pesado de larga distancia. Una comparación justa debe incluir adquisición, mantenimiento, energía, disponibilidad, valor residual y pérdida de productividad por recarga. La electrificación tampoco elimina las emisiones de fabricación de vehículos o generación eléctrica. El criterio de sostenibilidad debe comparar alternativas bajo el mismo servicio logístico y con supuestos energéticos transparentes.

La sostenibilidad social de la cadena requiere preguntar quién captura los ahorros. La automatización de una terminal puede disminuir tiempos de permanencia, pero los transportadores independientes no necesariamente reciben ese beneficio si las condiciones contractuales transfieren costos adicionales. El Banco Mundial (2025) resalta la importancia de gobernar los procesos de reforma portuaria y sus relaciones público-privadas. Una agenda regional de mejora debería combinar acuerdos sobre citas y turnos, mecanismos de resolución de controversias, prevención de accidentes y formación para nuevos sistemas de información. Las ganancias de eficiencia son más sostenibles cuando se reflejan en menor incertidumbre para proveedores, mejor previsibilidad para exportadores y reducción comprobable de externalidades para comunidades receptoras.

Las relaciones entre logística y desarrollo regional también dependen de la calidad del empleo. La expansión de servicios puede incrementar actividad económica sin mejorar automáticamente estabilidad contractual, protección social o condiciones de seguridad. El marco de la Agenda 2030 exige examinar el vínculo entre productividad, trabajo decente y desigualdad.

Por ello, las evaluaciones de programas logísticos deberían informar accidentes, rotación, formación, participación de mujeres, tiempos de espera no remunerados y acceso de mipymes a contratos. La FAO (2019) permite añadir el enfoque distributivo a cadenas agroalimentarias: reducir pérdidas no beneficia por igual a productores, comercializadores y consumidores, de modo que los efectos sobre precios e ingresos requieren análisis específicos.

CIRCULARIDAD MARÍTIMA, FINAL DE VIDA Y AGENDA DE IMPLEMENTACIÓN VERIFICABLE

La entrada en vigor del Convenio de Hong Kong para el reciclaje seguro y ambientalmente racional de buques el 26 de junio de 2025, documentada por la Organización Marítima Internacional (2025), amplía el horizonte de la logística sostenible hasta el final de la vida útil de los activos. El concepto de circularidad no se agota en recoger embalajes o devolver contenedores: incluye manejo de sustancias peligrosas, condiciones de trabajo, trazabilidad de materiales y responsabilidades entre propietarios, instalaciones y autoridades. Aunque la normativa se dirige al reciclaje de buques, su lógica resulta útil para revisar prácticas de disposición de equipos portuarios, baterías y componentes industriales. No debe afirmarse, sin análisis jurídico, que todas sus obligaciones sean aplicables directamente a cada instalación colombiana.

La clasificación de Karagkouni y Boile (2024) evidencia que la gestión de residuos es solo una de varias familias de prácticas verdes. Una terminal puede incrementar la tasa de reciclaje y continuar aumentando emisiones por combustibles, congestión o expansión de operaciones. Por ello, la circularidad debe integrarse a indicadores de prevención, reparación, recuperación material y destino final, evitando premiar la generación de grandes cantidades de residuos reciclados. El indicador prioritario no siempre es el porcentaje reciclado, sino la reducción de material virgen utilizado y de impactos por unidad de servicio. La coordinación con empresas gestoras debe incluir contratos, comprobantes de tratamiento, condiciones de seguridad y verificación independiente de destinos.

En términos de política pública, el diagnóstico regional puede organizarse en tres niveles. El primero corresponde a la empresa: inventario energético, mapa de proveedores, riesgos de transporte y calidad de datos. El segundo corresponde al corredor: tiempos de viaje, accesibilidad, congestión, seguridad, pérdidas de mercancía y puntos de transferencia modal. El tercero corresponde al territorio: calidad del aire, empleo, impactos comunitarios, vulnerabilidad climática y conectividad productiva. Pabón-Noguera et al. (2024), CentanaroAcuña et al. (2023) y la CEPAL (2025) ofrecen enfoques complementarios para estos niveles, pero ninguno sustituye una línea base integrada del Caribe colombiano. La integración de indicadores es una propuesta de investigación y gestión, no un resultado empírico ya demostrado.

La secuencia recomendada para un programa de intervención comienza con una delimitación explícita de rutas, empresas y tipos de carga; continúa con levantamiento de datos primarios y validación de factores de emisión; después compara alternativas mediante costo total, ciclo de vida y riesgos; y finalmente define compromisos verificables de actores públicos y privados. Smart FreightCentre (2023), el Banco Mundial (2025) y la Organización Marítima Internacional (2023) proporcionan instrumentos y orientaciones en niveles diferentes, cuya articulación requiere adaptación institucional. La investigación futura debería priorizar pilotos controlados, comparaciones antes-después y mecanismos de seguimiento independientes, sin atribuir cambios a una intervención cuando puedan explicarse por volumen, composición de carga o condiciones macroeconómicas.

CONCLUSIONES

La logística sostenible en el Caribe colombiano debe analizarse como un sistema de decisiones interdependientes. El movimiento de carga, aun cuando describe la importancia económica de los puertos regionales, no basta para medir eficiencia, resiliencia o desempeño ambiental. Los resultados de una intervención dependen de la unidad funcional, la cobertura de datos, la estructura contractual y la distribución de costos entre empresas, operadores y comunidades. Una evaluación rigurosa requiere distinguir emisiones operativas de impactos de ciclo de vida, intensidades de valores absolutos y cambios de reporte de reducciones físicas verificables (Osorio-Tejada et al., 2024; ISO, 2023; Salonitis et al., 2026).

Las fuentes recuperadas muestran que la transformación logística combina infraestructura y coordinación institucional. Los estudios sobre reportes portuarios, territorios puerto-ciudad

y redes de innovación revelan riesgos de fragmentación entre objetivos, recursos, indicadores y actores. La digitalización puede mejorar la trazabilidad cuando existen procesos definidos y capacidades para utilizar los datos; de otro modo puede trasladar costos y excluir proveedores. La adaptación climática, la logística inversa y la distribución urbana requieren evaluaciones diferenciadas que consideren condiciones locales y no trasladen sin mediación resultados de otros países (Abate et al., 2025; De Martino, 2022; Csedó, 2023; Gazzola et al., 2026).

El principal pendiente de investigación es construir evidencia regional desagregada sobre corredores, sectores, tamaños empresariales y relaciones contractuales. Se requieren líneas base de tiempos, costos, emisiones, pérdidas, seguridad y continuidad de servicio, junto con diseños que permitan evaluar resultados sin confundir correlación y causalidad. La política pública puede facilitar estándares comunes de datos, coordinación y acceso a financiación; las empresas deben documentar decisiones y resultados. El capítulo constituye una síntesis documental y una propuesta analítica, no una investigación de campo ni una validación empírica del modelo territorial.

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

- Abate, F., Bisogno, M., & Citro, F. (2025). Sustainable strategic targets, sustainability indicators and sustainability reporting: The case of port authorities. *Journal of Public Budgeting, Accounting & Financial Management*, 37(6), 175–192. <https://doi.org/10.1108/JPBAFM-11-2024-0220>
- Altarriba, E. (2025). The impact of climate change on maritime transport: A review of the situation in the Kymenlaakso region. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 19(1). <https://doi.org/10.12716/1001.19.01.23198>
- Barleta, E., Saade Hazin, M., & Sánchez, R. (2025). Informe portuario 2023-2024: Señales mixtas en el comercio y los puertos y nuevas disrupciones en la logística internacional marítima de contenedores. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/en/node/66275>
- Bulak, M. E. (2024). A frontier approach to eco-efficiency assessment in the world's busiest sea ports. *Sustainability*, 16(3), Article 1142. <https://doi.org/10.3390/su16031142>
- Centanaro Acuña, L., Ochoa Caceres, E., Caballero Campo, B., Bortoluzzi, E. C., Neckel, A., Moreno-Ríos, A. L., Dal Moro, L., Oliveira, M. L. S., Mores, G. de V., & Ramos, C. G. (2023). Advancing sustainability: Effective strategies for carbon footprint reduction in seaports across the Colombian Caribbean. *Sustainability*, 15(22), Article 15819. <https://doi.org/10.3390/su152215819>
- Cho, H. J., Alvarez, G., & Comer, B. (2025). Vision 2050: Fuel standards to align international shipping with the Paris Agreement. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/vision-2050-fuel-standards-to-align-international-shipping-with-the-paris-agreement-mar25/>
- Comer, B., Beecken, J., Vermeulen, R., Sturup, E., Paschinger, P., Osipova, L., Gore, K., Delahaye, A., Verhagen, V., Knudsen, B., Knudsen, J., & Verbeek, R. (2024). Fugitive and unburned methane emissions from ships (FUMES): Characterizing methane emissions from LNG-fueled ships using drones, helicopters, and on-board measurements. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/fumes-characterizing-methane-emissions-from-lngfueled-ships-using-drones-helicopters-and-on-board-measurements-jan24/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2025). Port profile: Container port throughput statistics. https://perfil.cepal.org/l/en/portmovements_classic.html
- Constantino, R., & Saade Hazin, M. (2024). Financiamiento de la infraestructura para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/69040-financiamiento-la-infraestructura-desarrollo-sostenible-america-latina-caribe>
- Csedó, Z. (2023). Sustainability change management in inter-organizational innovation networks. *Society and Economy*, 45(4), 355–371. <https://doi.org/10.1556/204.2023.00011>
- 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
- Departamento Nacional de Planeación. (2023, 16 de noviembre). El DNP reveló que el costo logístico nacional se ubicó en 17,9 %, 5 p. p. por encima de la meta de 12,9 %. https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/el-dnp-revelo-que-el-costo-logistico-nacional-se-ubico-en-17-9-5-p-p-por-encima-de-la-meta-de-12-9.aspx
- Departamento Nacional de Planeación. (2025, 19 de noviembre). La logística del país avanza impulsada por las regiones: Menores costos y la logística verde se destacan en la ENL 2024. https://dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/La-logistica-del-pais-avanza-impulsada-por-regiones-menores-costos-encuesta-nacional-logistica.aspx
- Fang, Z., Luo, Y., & Luo, F. (2025). Macro carbon accounting and development recommendations for the logistics sector in the middle reaches of the Yangtze River in China. *E3S Web of Conferences*, 625, Article 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562501011>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). The state of food and agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. <https://doi.org/10.4060/CA6030EN>
- Fun Sang Cepeda, M., Gore, K., & Mao, X. (2025). The potential of Brazilian ports as renewable marine fuel bunkering hubs. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/the-potential-of-brazilian-ports-as-renewable-marine-fuel-bunkering-hubs-june25/>
- 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), Article 6224. <https://doi.org/10.3390/su18126224>
- Herianti, E., & Marundha, A. (2026). Climate disclosure and carbon tax: Accounting insights on earnings volatility in Indonesian transportation firms. *Acta Logistica*, 13(2), 337–352. <https://doi.org/10.22306/al.v13i2.771>
- International Energy Agency. (2025). Global EV outlook 2025. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>
- International Finance Corporation. (2023). Sustainable MSME finance reference guide. <https://www.ifc.org/en/insights-reports/2023/sustainable-msme-finance-reference-guide>
- International Maritime Organization. (2023). 2023 IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/IMO-Strategy-on-reduction-of-GHG-emissions-from-ships.aspx>
- International Maritime Organization. (2025). New era for ship recycling as Hong Kong Convention enters into force. <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/Hong-Kong-Convention-entry-into-force>

aspx

- International Organization for Standardization. (2023). Greenhouse gases—Quantification and reporting of greenhouse gas emissions arising from transport chain operations (ISO Standard No. 14083:2023). <https://www.iso.org/standard/78864.html>
- International Transport Forum. (2023). ITF transport outlook 2023. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5fc66b10-en>
- Kannan, D. (2018). Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.020>
- Karagkouni, K., & Boile, M. (2024). Classification of green practices implemented in ports: The application of green technologies, tools, and strategies. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(4), Article 571. <https://doi.org/10.3390/jmse12040571>
- Lagha, A., Ben Daya, B., & Audy, J.-F. (2024). Assessment of greenhouse gas emissions from heavy-duty trucking in a non-containerized port through simulation-based methods. *Sustainability*, 16(5), Article 1904. <https://doi.org/10.3390/su16051904>
- Liashenko, V., Ivanov, S., & Trushkina, N. (2021). A conceptual approach to forming a transport and logistics cluster as a component of the region's innovative infrastructure (on the example of Prydniprovsky economic region of Ukraine). *Virtual Economics*, 4(1). [https://doi.org/10.34021/ve.2021.04.01\(2\)](https://doi.org/10.34021/ve.2021.04.01(2))
- Mao, X., Meng, Z., Comer, B., & Decker, T. (2025). Greenhouse gas emissions and air pollution from global shipping, 2016–2023. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/greenhouse-gas-emissions-and-air-pollution-from-global-shipping-2016-2023-apr25/>
- Maulita, Rochaida, E., Effendi, A. S., Awaluddin, M., Adhimursandi, D., & Priyagus. (2026). The role of financial literacy, fintech and social capital in MSMEs sustainability: Evidence from the maritime industry. *International Research Journal of Multidisciplinary Scope*, 7(3), 643–657. <https://doi.org/10.47857/irjms.2026.v07i03.012005>
- Medeiros, V., Stein, A. de Q., Ribeiro, R. S. M., & Santos, U. P. dos. (2025). Transportation infrastructure and university-industry collaborations: Regional-level evidence from Brazil. *Estudos Econômicos*, 55(4), Article e53575544. <https://doi.org/10.1590/1980-53575544varu>
- Ministerio de Transporte. (2025, 2 de abril). En 2024, las zonas portuarias de Colombia movilizaron 180,5 millones de toneladas de carga. <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/11996/>
- OECD. (2024). Financing SMEs and entrepreneurs 2024: An OECD scoreboard. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/fa521246-en>
- Osorio-Tejada, J. L., Llera-Sastresa, E., & Scarpellini, S. (2024). Environmental assessment of road freight transport services beyond the tank-to-wheels analysis based on LCA. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 421–451. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02715-7>
- Pabón Noguera, A. del S., Cerbán Jiménez, M. del M., & Ruiz Aguilar, J. J. (2025). Container traffic in the Colombian Caribbean: A competitiveness analysis of the Port of Santa Marta through a technical-economic combination framework. *Logistics*, 9(3), Article 84. <https://doi.org/10.3390/logistics9030084>
- Pabón-Noguera, A., Carrasco-García, M. G., Ruíz-Aguilar, J. J., Rodríguez-García, M. I., Cerbán-Jimenez, M., & Turias Domínguez, I. J. (2024). Multicriteria decision model for port evaluation and ranking: An analysis of container terminals in Latin America and the Caribbean using PCA-TOPSIS methodologies. *Applied Sciences*, 14(14), Article 6174. <https://doi.org/10.3390/app14146174>
- Pham Quang Huy, & Vu Kien Phuc. (2025). Impact of technologically vigilant leadership on smart sustainable circular supply chain management. *Emerging Science Journal*, 9(4). <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-04-07>
- Saade Hazin, M. (2026). Informe portuario 2024-2025: Cómo navegar en una nueva etapa de globalización e interdependencia económica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/89985-informe-portuario-2024-2025-como-navegar-nueva-etapa-globalizacion>
- Salonitis, K., Patsavellas, J., & García Llubia, C. (2026). Assessing scope 3 transportation emissions: A calculation tool for sustainable manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-17267-z>
- Simanjuntak, A., Goh, T. S., Sagala, F., Sitanggang, D. P., & Nadeak, H. I. (2025). Digital informatics integration in manufacturing supply chains: Enhancing environmental service quality and logistics efficiency through smart accounting systems. *Journal of Logistics, Informatics and Service Science*, 12(6), 59–76. <https://doi.org/10.33168/JLISS.2025.0604>
- Smart Freight Centre. (2023). Global Logistics Emissions Council framework for logistics emissions accounting and reporting (Version 3.0). https://www.smartfreightcentre.org/documents/328/GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_02_04_24.pdf
- Ströher, T., Körner, M.-F., Paetzold, F., & Strüker, J. (2025). Bridging carbon data's organizational boundaries: Toward automated data sharing in sustainable supply chains. *Electronic Markets*, 35, Article 33. <https://doi.org/10.1007/s12525-025-00779-7>
- Superintendencia de Transporte. (2025a). Boletín estadístico de tráfico portuario en Colombia, enero a diciembre de 2024. <https://www.supertransporte.gov.co/index.php/superintendencia-delegada-de-puertos/estadisticas-trafico-portuario-en-colombia/>
- Superintendencia de Transporte. (2025b, 6 de junio). De enero a marzo de 2025, las zonas portuarias de Colombia movilizaron 45,3 millones de toneladas de carga. <https://www.supertransporte.gov.co/index.php/comunicaciones-2025/de-enero-a-marzo-de-2025-las-zonas-portuarias-de-colombia-movilizaron-453-millones-de-toneladas-de-carga/>

- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
- United Nations Conference on Trade and Development. (2024). Review of maritime transport 2024: Navigating maritime chokepoints. United Nations. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024>
- United Nations Conference on Trade and Development. (2025). Review of maritime transport 2025: Staying the course in turbulent waters. <https://unctad.org/news/maritime-trade-under-pressure-growth-set-stall-2025>
- United Nations Environment Programme. (2024). Emissions gap report 2024. <https://www.unep.org/interactives/emissions-gap-report/2024/>
- World Bank. (2023). Connecting to compete 2023: Trade logistics in an uncertain global economy. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/04/21/world-bank-releases-logistics-performance-index-2023>
- World Bank. (2025). World Bank port reform toolkit. <https://ppp.worldbank.org/library/world-bank-port-reform-toolkit>
- World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2011). Corporate value chain (Scope 3) accounting and reporting standard. Greenhouse Gas Protocol. <https://ghgprotocol.org/corporate-value-chain-scope-3-standard>
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2026.104791>