

**Sistemas de transporte terrestre inteligentes en la logística: desafíos y oportunidades para
la innovación, efectividad y sostenibilidad en América del Sur**

Walter David Suárez Durán

Asesor

Sergio Ezequiel Quijano Quijano

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería -ECBTI

Ingeniería Industrial

2025

Dedicatoria

Al amor de mi vida, mi esposa, por creer siempre en mí y darme su apoyo de manera incondicional, por ser mi soporte y sustento emocional y afectivo; por ser mi ayuda idónea, mi compañera, mi amiga; sin ella no hubiera sido posible lograrlo. A mis hijos, que me impulsan a esforzarme cada día más y por los cuales no desisto a pesar de las dificultades. A mi familia, que siempre tienen una sonrisa que levanta el ánimo y ayuda a seguir adelante. Para ustedes, el resultado de un esfuerzo constante, noches de estudio, resiliencia y dedicación.

Agradecimientos

A Dios, dador de la vida por la oportunidad que me ha trazado para terminar con éxito las metas trazadas. A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia representada por los tutores y personal administrativo, que con su trabajo contribuyeron a construir de a poco mis objetivos. Cada enseñanza, corrección e instrucción, han permitido formar una persona que actúe con integridad, conocimiento y profesionalismo. Finalmente, a todos los compañeros de estudio y a aquellas personas e instituciones que se esfuerzan por construir una sociedad con desarrollo sostenible, innovadora, equitativa y justa.

Epígrafe

*La educación, es un medio de inspiración
para transformar el mundo*

Walter David Suárez Durán

Resumen

La monografía titulada sistemas de transporte terrestre inteligentes en la logística: Desafíos y oportunidades para la innovación, efectividad y sostenibilidad en América del Sur, tiene como objetivo realizar un estudio especializado sobre los sistemas de transporte terrestre para la logística en Sudamérica, con el propósito de analizar los principales desafíos y oportunidades que conlleva su implementación en una región caracterizada por la alta dependencia del transporte por carretera, una infraestructura desigual y la necesidad urgente de transitar hacia modelos sostenibles. El documento parte del reconocimiento de limitaciones estructurales y normativas que obstaculizan la modernización del transporte, tales como la fragmentación regional, la obsolescencia de la infraestructura, la insuficiencia de políticas públicas, los elevados costos de digitalización y la escasez de talento especializado en tecnologías digitales aplicadas a la logística. Asimismo, se identifican riesgos emergentes vinculados a la ciberseguridad y la protección de datos, los cuales constituyen nuevos retos para la operación segura de cadenas de suministro interconectadas. No obstante, el análisis demuestra que existen múltiples oportunidades para transformar el transporte terrestre mediante el uso estratégico de innovaciones como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, el big data, el blockchain, los vehículos autónomos, las plataformas en la nube y la logística colaborativa. Estas herramientas tecnológicas permiten mejorar la trazabilidad, optimizar recursos, reducir emisiones contaminantes y elevar la competitividad logística de la región.

Palabras clave: Logística, sostenibilidad, transformación, tecnología, Transporte.

Abstract

This monograph examines Intelligent Land Transportation Systems (ILTS) within the South American logistics context, aiming to analyze both the main challenges and opportunities related to their adoption in a region highly dependent on road transport, marked by uneven infrastructure and the urgent need to transition towards sustainable models. The study begins by identifying structural and regulatory constraints that hinder modernization, such as regional fragmentation, outdated infrastructure, insufficient public policies, high digitalization costs, and the scarcity of specialized talent in digital technologies applied to logistics. Additionally, the research highlights emerging risks associated with cybersecurity and data protection, which represent new vulnerabilities for interconnected supply chains. Despite these barriers, the analysis demonstrates that South America has significant opportunities to transform its logistics systems through the strategic use of innovations such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), big data and predictive analytics, blockchain for secure traceability, autonomous and connected vehicles, cloud-based platforms, and collaborative logistics models. These technologies not only enhance operational effectiveness and improve traceability but also contribute to reducing environmental emissions, optimizing resources, and strengthening the region's competitiveness in global markets.

Keywords: Logistics, sustainability, transformation, technology, Transportation.

Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 12 |
| Planteamiento del Problema | 13 |
| Justificación | 15 |
| Objetivos | 17 |
| Objetivo General..... | 17 |
| Objetivos Específicos..... | 17 |
| Marco Conceptual..... | 18 |
| Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes | 18 |
| Innovación Tecnológica..... | 18 |
| Efectividad Operativa | 18 |
| Sostenibilidad en el Transporte..... | 18 |
| Teoría de Sistemas Ciberfísicos..... | 19 |
| Enfoque de Logística 4.0 | 19 |
| Teoría del Desarrollo Sostenible..... | 19 |
| Modelo de Innovación Abierta | 19 |
| Teoría del Cambio Tecnológico en Países en Desarrollo | 19 |
| Principales Obstáculos para la Adaptación de Nuevas Tecnologías en los Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes en la Logística de Sudamérica | 21 |

| | |
|--|----|
| Infraestructura Obsoleta y Fragmentación Regional | 21 |
| Falta de Políticas Públicas y Marcos Normativos..... | 24 |
| Brechas Tecnológicas y Limitaciones en el Capital Humano | 25 |
| Costos de Implementación y Acceso Desigual a Tecnologías..... | 28 |
| Desigualdad Digital y Brecha Tecnológica Regional..... | 30 |
| Riesgos de Ciberseguridad y Protección de Datos | 32 |
| Panorama de Amenazas en ITS Logísticos..... | 33 |
| Vulnerabilidades Emergentes: Data Poisoning y Ataques de Información Engañosa | 33 |
| Protección de Datos Personales y Privacidad | 34 |
| Oportunidades de Innovación Tecnológica Aplicables a los Sistemas de Transporte Terrestre para Mejorar la Efectividad Operativa en la Logística de la Región..... | 36 |
| Internet de las Cosas (IoT) y Sensores Inteligentes | 36 |
| Big Data y Analítica Predictiva | 37 |
| Inteligencia Artificial (IA) para la Automatización Logística..... | 38 |
| Blockchain y Trazabilidad Segura | 39 |
| Vehículos Autónomos y Conectados (CAV)..... | 40 |
| Plataformas de Gestión Logística en la Nube..... | 41 |
| Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y Realidad Aumentada | 42 |
| Logística Colaborativa y Plataformas de Matching..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Sostenibilidad Ambiental en la Modernización Tecnológica del Transporte Terrestre Logístico de Sudamérica..... | 46 |
| El Reto Ambiental del Transporte Terrestre en Sudamérica | 46 |
| Tecnologías Limpias y Reducción de Emisiones | 51 |
| Impulsar la Innovación Tecnológica, Mejorar la Eficiencia Operativa y Reducir el Impacto Ambiental del Transporte Terrestre Logístico en Sudamérica | 58 |
| Estrategias para Impulsar la Innovación Tecnológica | 59 |
| Acciones para Mejorar la Eficiencia Operativa | 62 |
| Medidas para Reducir el Impacto Ambiental | 64 |
| Proyección de Impacto..... | 66 |
| Conclusiones..... | 69 |
| Recomendaciones | 70 |
| Referencias Bibliográficas | 71 |

Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Empresas que han Aplicado las Tecnologías Emergentes en la Gestión del Transporte Terrestre en Logística</i> | 44 |
| Tabla 2 <i>Estadísticas Sobre Emisiones Contaminantes Producidas por los Sistemas de Transporte Terrestre</i> | 49 |
| Tabla 3 <i>Empresas que han Realizado Inversiones en Energías Renovables</i> | 56 |
| Tabla 4 <i>Indicadores Propuestos para el Seguimiento, Control y Evaluación de las Acciones Sugeridas</i> | 67 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 <i>Índice de Desempeño Logístico (IDL) por País, Componentes de Infraestructura, 2018 y 2023</i> | 23 |
| Figura 2 <i>Variación Acumulada de la Adopción Digital en los Negocios: 2014-2016</i> | 27 |
| Figura 3 <i>Digitalización de la Cadena de Aprovechamiento 2018</i> | 28 |
| Figura 4 <i>Conectividad de Internet Móvil en América Latina y el Caribe</i> | 31 |
| Figura 5 <i>Vista General del Riesgo de Ataque (Data Poisoning) al Transporte Terrestre en Logística</i> | 34 |
| Figura 6 <i>Nuevas Tecnologías Aplicables a los Sistemas de Transporte en Logística</i> | 37 |
| Figura 7 <i>Áreas de Aplicación de la IA en los Sistemas de Transporte de Mercancías</i> | 39 |
| Figura 8 <i>Países que ven el Transporte Híbrido como una Opción de Transición Energética en el Transporte</i> | 47 |
| Figura 9 <i>Países que ven el Transporte Eléctrico como una Opción de Transición Energética en el Transporte</i> | 47 |
| Figura 10 <i>Países que Proyectan Cambio en la Modalidad de Transporte Terrestre</i> | 48 |
| Figura 11 <i>Comparación de Emisiones Contaminantes de un Motor de Combustión Interna y un Bus Eléctrico</i> | 52 |

Introducción

El transporte terrestre constituye uno de los principales ejes del sistema logístico en América del Sur, movilizandando gran parte de la carga regional y desempeñando un papel determinante en la competitividad de las cadenas de suministro. Sin embargo, el modelo tradicional de transporte enfrenta limitaciones crecientes en términos de eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y capacidad de adaptación a un entorno global dinámico. En este contexto, los Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes (STTI) surgen como una alternativa estratégica para modernizar la logística regional, mediante la integración de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de datos en tiempo real, el blockchain y los sistemas de trazabilidad digital.

Pese a su potencial, la adopción de STTI en la región se ve obstaculizada por deficiencias estructurales como infraestructura obsoleta, falta de articulación institucional, ausencia de políticas públicas coherentes, limitaciones en el capital humano y altos costos de implementación. No obstante, diversas experiencias regionales y globales evidencian que la implementación de tecnologías inteligentes puede generar mejoras significativas en la eficiencia, la trazabilidad, la seguridad y la sostenibilidad del transporte de mercancías.

Esta monografía se propone, por tanto, realizar un análisis técnico y contextualizado de los desafíos y oportunidades que enfrenta la región para avanzar hacia sistemas de transporte terrestre más inteligentes, sostenibles e inclusivos. A través de una revisión crítica de literatura especializada, estudios de caso y análisis comparativo, se plantean recomendaciones orientadas a impulsar la transformación tecnológica del sector logístico, promoviendo políticas públicas basadas en evidencia y alianzas estratégicas entre gobiernos, academia y sector privado.

Planteamiento del Problema

En un entorno caracterizado por la alta competitividad, la volatilidad de los mercados y la creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental, los sistemas de transporte terrestre tradicionales en logística enfrentan importantes limitaciones en cuanto a efectividad y adaptabilidad. “El subsector de transporte terrestre de mercancías es el más rezagado en términos de transformación digital del transporte y de las principales cadenas de suministro” (Catalayud et al., 2022, p. 151). La transformación digital, impulsada por tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial, el blockchain, la industria 4.0 y el análisis de datos en tiempo real, está dando lugar a nuevos desafíos, sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación plantea diversos desafíos relacionados con la inversión inicial, la interoperabilidad del sistema de transporte, la ciberseguridad y la capacitación del talento humano.

Se ha identificado que, en América del Sur muchas organizaciones y gobiernos aún no comprenden completamente las oportunidades estratégicas que ofrecen los sistemas de transporte terrestre inteligentes en términos de innovación, optimización de recursos y sostenibilidad. También carecen de políticas gubernamentales que asignen los recursos necesarios para su implementación. Esta situación genera una brecha entre la disponibilidad tecnológica y su adopción efectiva, limitando el desarrollo de modelos logísticos modernos y eficientes (Catalayud et al., 2022, p. 124). Además, la problemática se agudiza debido a que la región enfrenta desafíos estructurales como infraestructura deficiente, inseguridad, regulaciones legales cambiantes, débil interconexión entre los diferentes sistemas de transporte y una fuerte dependencia de monedas internacionales. Estas barreras dificultan implementar soluciones de

fondo a los principales desafíos y oportunidades que implica la transición hacia sistemas de transporte terrestre inteligentes en los distintos sectores productivos (Alberti & Pereyra, 2018).

En muchos países de América del Sur, el transporte terrestre de mercancías, que representa aproximadamente el 70 % del transporte regional y contribuye con hasta el 40 % de las emisiones de CO₂ del sector, está obstaculizado por una infraestructura deficiente y regulaciones fragmentadas que incrementan significativamente los costos logísticos y retrasan la recuperación económica (Unigis Smart Logistics, 2025)

Estas deficiencias específicas provocan pérdidas económicas por demoras en entrega, viajes vacíos y falta de visibilidad operacional, lo que limita la adopción de tecnologías digitales inteligentes como IoT, blockchain y análisis de datos en tiempo real por parte de pequeñas y medianas empresas, que carecen de recursos técnicos y financieros para integrarse a estas soluciones (Redacción Logística 360, 2025)

Los sistemas de transporte terrestre en logística se encuentran en un periodo de estancamiento tecnológico en la mayor parte de la región, por lo cual, se necesita adoptar nuevas tecnologías que permitan mantener la competitividad a nivel Sudamericano y mundial, nuevas estrategias que contribuyan a optimizar costo, tiempo, mejorar la calidad del servicio, garantizar la integridad de la mercancía, satisfacer las expectativas del cliente y disminuir el impacto ambiental causado por las operaciones.

Justificación

La transformación de los sistemas de transporte terrestre logísticos en América del Sur es una obligación estratégica frente a un contexto caracterizado por crecientes exigencias de eficiencia, sostenibilidad y adaptación tecnológica.

De acuerdo con The World Bank Group (2023), los Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes (STTI) se perfilan como una herramienta fundamental para afrontar estos desafíos, al incorporar tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), big data, inteligencia artificial (IA) y sistemas de gestión en tiempo real, con el fin de mejorar el rendimiento operativo y la sostenibilidad ambiental de las cadenas logísticas.

Parte de la región Sudamericana aún enfrenta importantes brechas estructurales que limitan el despliegue efectivo de estos sistemas. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2024), gran parte de la infraestructura vial y ferroviaria se encuentra obsoleta o mal conectada, lo que impide la consolidación de corredores logísticos eficientes y sostenibles. A ello se suma la baja inversión en tecnologías digitales aplicadas al transporte de mercancías, especialmente en países con menor desarrollo relativo, lo cual dificulta la implementación de soluciones inteligentes a gran escala. “Promover acciones de facilitación comercial y medidas coordinadas de inversión en redes de transporte y tecnológicas puede favorecer la transformación productiva, elevar el comercio intrarregional y favorecer el empleo inclusivo” (CEPAL, 2020, p. 9)

Esta monografía cobra especial relevancia al proponer un análisis crítico y contextualizado de los desafíos y oportunidades que supone la adopción de STTI en América del Sur. A través de este estudio, se pretende evidenciar el potencial transformador de estas

tecnologías para generar logísticas más estables, sostenibles y competitivas, promoviendo así el desarrollo de políticas públicas basadas en evidencia y de estrategias empresariales orientadas a la innovación. Del mismo modo, este trabajo tiene como finalidad contribuir al fortalecimiento de los marcos de gobernanza digital, recomendar estrategias regionales y visibilizar las buenas prácticas que están emergiendo en países como Brasil, Chile y Argentina, que han comenzado a invertir en sistemas de transporte inteligentes con resultados prometedores, según América (Retail, 2025).

Finalmente, el estudio busca convertirse en un insumo útil tanto para la comunidad académica como para actores del sector logístico, promoviendo un enfoque sistémico y que permita entender la logística del transporte terrestre no solo como un conjunto de procesos técnicos, sino como un elemento clave del desarrollo económico, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental en la región.

Objetivos

Objetivo General

Identificar los principales desafíos y oportunidades de los sistemas de transporte terrestre inteligentes en la logística en Sudamérica, para el desarrollo de estrategias que promuevan la innovación tecnológica y sostenibilidad ambiental, realizando un estudio detallado de las operaciones actuales.

Objetivos Específicos

Determinar los obstáculos más significativos que enfrentan los sistemas de transporte terrestre inteligentes en la logística de Sudamérica, con el propósito de conocer las condiciones del mercado, realizando un diagnóstico sobre el uso nuevas tecnologías.

Reconocer las oportunidades de innovación tecnológica aplicables a los sistemas de transporte terrestre logístico en la región, logrando mayor efectividad operativa mediante el uso de tecnologías emergentes.

Describir el papel de la sostenibilidad ambiental en la modernización tecnológica del transporte terrestre en logística de Sudamérica, reconociendo políticas y normas ambientales para su implementación.

Proponer recomendaciones estratégicas con el fin de mejorar la efectividad operativa y reducir el impacto ambiental del transporte terrestre logístico en la región, implementando nuevas tecnologías.

Marco Conceptual

Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés) son soluciones tecnológicas que integran infraestructuras físicas con tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para mejorar la movilidad, la seguridad vial, reducir costos y avanzar hacia sistemas logísticos más sostenibles, de acuerdo con lo manifestado por Granada et al. (2018). En logística, estos sistemas permiten gestionar el tráfico, la carga, los fletes, las flotas, la trazabilidad de mercancías y el mantenimiento vehicular de forma más eficiente.

Innovación Tecnológica

La innovación tecnológica en el transporte se refiere a la introducción y aplicación de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y el análisis de datos en tiempo real, que generan mejoras significativas en procesos logísticos, como la optimización de rutas y la reducción del impacto ambiental (Catalayud et al., 2022).

Efectividad Operativa

La efectividad operativa describe el grado en que un sistema alcanza sus objetivos de manera eficiente, segura y confiable. En el transporte terrestre, la digitalización ha sido clave para mejorar los tiempos de respuesta, reducir los errores humanos y aumentar la productividad.

Sostenibilidad en el Transporte

El concepto de sostenibilidad en el transporte se basa en desarrollar sistemas que reduzcan el impacto ambiental, promuevan el uso eficiente de recursos y fomenten tecnologías limpias. En América Latina, se están promoviendo políticas que integren transporte y medio ambiente como parte de los compromisos internacionales, como el Acuerdo de París.

Teoría de Sistemas Ciberfísicos

Los sistemas de transporte terrestre pueden analizarse como sistemas ciberfísicos, ya que integran sensores, software y redes digitales con infraestructuras físicas. Esta perspectiva permite comprender cómo los flujos logísticos pueden optimizarse en tiempo real mediante tecnologías avanzadas.

Enfoque de Logística 4.0

La Logística 4.0 se refiere a la transformación digital de la cadena de suministro mediante el uso intensivo de IoT, big data, inteligencia artificial y automatización. En América Latina, su aplicación ha sido impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir costos logísticos y responder a una demanda más dinámica.

Teoría del Desarrollo Sostenible

Esta teoría establece que el desarrollo debe considerar simultáneamente dimensiones económicas, sociales y ambientales. En el sector logístico, esto implica adoptar modelos de transporte que reduzcan emisiones y promuevan equidad social, especialmente en países de América del Sur que enfrentan grandes desafíos estructurales.

Modelo de Innovación Abierta

El modelo de innovación abierta sugiere que gobiernos, empresas y academia deben colaborar para desarrollar soluciones innovadoras. En el ámbito del transporte terrestre, esta colaboración puede generar plataformas tecnológicas que respondan mejor a las necesidades logísticas y de movilidad regional.

Teoría del Cambio Tecnológico en Países en Desarrollo

Esta teoría explica cómo los países en desarrollo enfrentan barreras estructurales y tecnológicas en la adopción de innovaciones. En América del Sur, la transformación digital del

transporte aún enfrenta retos como la falta de inversión, infraestructura deficiente y dependencia tecnológica externa.

Principales Obstáculos para la Adaptación de Nuevas Tecnologías en los Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes en la Logística de Sudamérica

La implementación de Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes (STTI) en Sudamérica enfrenta múltiples desafíos estructurales, institucionales, tecnológicos y económicos que dificultan su adopción en los procesos logísticos. A pesar del potencial transformador de las tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de big data y el blockchain, su integración en el transporte terrestre logístico sigue siendo deficiente en buena parte de la región. Aunque existe amplio conocimiento sobre las herramientas disponibles, no se han logrado encontrar las estrategias adecuadas para su adaptación e implementación en el transporte terrestre de mercancías y la integración con los demás modos de transporte. Dentro de los obstáculos más representativos que limitan el desarrollo y actualización tecnológica en los sistemas de transporte terrestre, podemos encontrar:

Infraestructura Obsoleta y Fragmentación Regional

Uno de los principales obstáculos radica en la precariedad de la infraestructura vial y ferroviaria, la cual limita la interoperabilidad de los sistemas logísticos y de transporte, dificultando el desarrollo normal de las operaciones de las cadenas de suministro a nivel local y regional. “La infraestructura de transporte inadecuada ha aumentado los costos de logística y ha ralentizado el flujo de bienes y servicios, lo que afecta la capacidad de los países de competir en los mercados internacionales y reduce el atractivo de la región como destino de inversión extranjera” (CEPAL, 2024, p. 2).

También, es necesario considerar que los proyectos de infraestructura vial van ligados a la inversión del Estado y la estructuración de políticas públicas que contemplen dichas inversiones dentro de sus planes de desarrollo y en las agendas de cooperación internacional. Los

avances deben hacerse desde las capacidades individuales de los países, pero, contribuyendo al objetivo de fortalecer la infraestructura de la región, alineados al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 “Industria, innovación e infraestructura” (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Lo que, a su vez promueve la expansión de los mercados, el aumento de la producción, generación de empleo, inversiones extranjeras, entre otras ventajas. Sin embargo, es una tarea difícil de consolidar, pues en la mayoría de los casos, cada país tiene problemas internos adicionales en las áreas de educación, salud, seguridad, industria, entre otros, lo que agudiza la falta de recursos disponibles para otros campos de desarrollo.

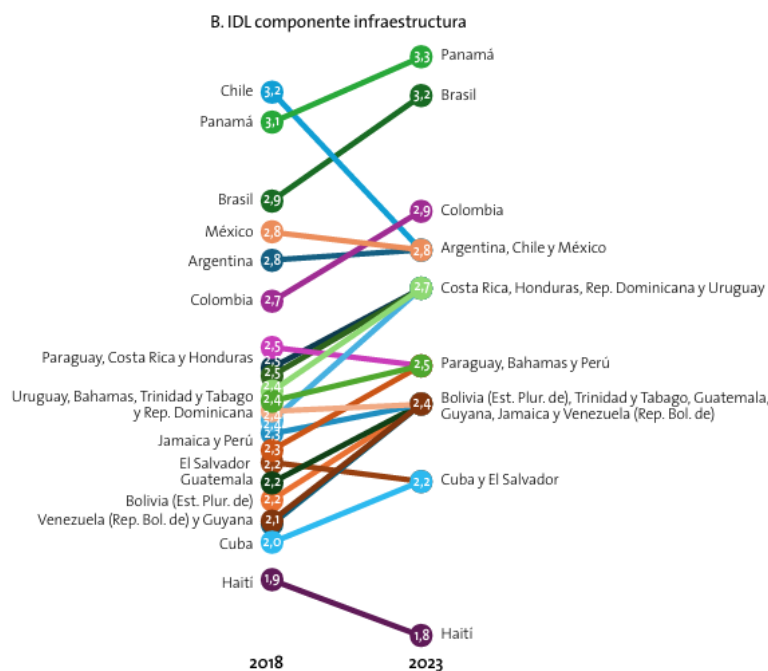
De acuerdo con Sánchez et al. (2017), las brechas de infraestructura se pueden ver en dos direcciones: vertical, que hace referencia a factores internos de la región y las diferencias que surgen entre la evolución de la oferta y la demanda interna de infraestructura; y la horizontal, que se refiere a la comparación en el logro de objetivos e indicadores con respecto a otras regiones del mundo.

Según un estudio de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2024), gran parte de la infraestructura existente en Sudamérica carece de mantenimiento adecuado, está mal conectada o no se encuentra alineada con los requerimientos tecnológicos para la implementación de STTI. Esta fragmentación dificulta el establecimiento de corredores logísticos inteligentes que garanticen eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental.

Una muestra de la preocupante situación se ve reflejada en los resultados del Índice de Desempeño Logístico en el componente de infraestructura, emitidos por el Banco Mundial, donde se evidencia que los países suramericanos tuvieron puntajes bastante bajos, notando que los avances durante cinco años a nivel general, no fueron muy significativos (Arvis et al., 2023).

Figura 1

Índice de Desempeño Logístico (IDL) por País, Componentes de Infraestructura, 2018 y 2023



Fuente. Tomado de CEPAL. (2024). *Infraestructura eficiente y de calidad en América Latina y el Caribe: ¿cómo mejorar el desempeño de las inversiones?*

Se necesita generar agendas internacionales que se centren en la planeación de objetivos dirigidos a la modernización de la infraestructura vial de la región, donde se adquieran compromisos serios para contribuir en la expansión y actualización de las cadenas logísticas, de tal forma que se garantice la competitividad de los mercados a nivel mundial de acuerdo con los estándares establecidos.

Falta de Políticas Públicas y Marcos Normativos

Otro obstáculo representativo para la modernización tecnológica del transporte terrestre logístico en Sudamérica es la ausencia de políticas públicas integrales y marcos normativos actualizados que respalden e impulsen la digitalización del sector. A pesar de los avances globales en la implementación de Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes (STTI), en América del Sur aún predomina una gestión del transporte deficiente, sin una hoja de ruta común que articule la innovación tecnológica con los objetivos de desarrollo logístico.

Históricamente, los sistemas normativos del transporte en la región han sido diseñados bajo modelos tradicionales centrados en la infraestructura física, sin contemplar adecuadamente la dimensión tecnológica y digital. Esta falta de actualización normativa impide la incorporación eficiente de nuevas tecnologías en los sistemas logísticos. Según Catalayud et al. (2022), la carencia de regulaciones claras, incentivos fiscales o lineamientos técnicos en muchos países ha generado incertidumbre en los actores privados, frenando la inversión en tecnología y dificultando la integración regional. Por ejemplo, mientras la Unión Europea ha desarrollado una Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente con objetivos hasta 2030 y 2050, en Sudamérica aún no existe un marco regional comparable que integre la sostenibilidad y la digitalización como ejes estratégicos del transporte terrestre (European Commission, 2020). Esta disparidad normativa incrementa la brecha tecnológica entre regiones y limita el aprovechamiento del potencial logístico sudamericano.

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020), apenas el 0,6 % del PIB regional fue destinado a infraestructura de transporte en 2020, y de ese porcentaje, menos del 10 % se canalizó hacia iniciativas tecnológicas o de digitalización. La falta de voluntad política y la escasa articulación interinstitucional dificultan la creación de marcos

regulatorios modernos y adaptables, lo que genera un rezago normativo frente al dinamismo de las tecnologías emergentes.

Además, esta situación tiene implicaciones prácticas: muchas empresas, en particular las pequeñas y medianas (PYMES), no cuentan con lineamientos normativos que regulen el uso de plataformas inteligentes, trazabilidad digital o ciberseguridad en la logística. Esta ausencia de regulación técnica impide su adopción masiva, y genera un ecosistema desigual en el que solo grandes empresas pueden acceder a soluciones avanzadas.

La región necesita avanzar hacia una gobernanza digital del transporte que promueva la cooperación regional y defina una agenda compartida para la transformación tecnológica del sector logístico. Solo mediante la articulación de políticas públicas claras, inversiones estratégicas y marcos normativos inclusivos será posible garantizar una logística terrestre eficiente, innovadora y sostenible en la región.

Brechas Tecnológicas y Limitaciones en el Capital Humano

Existen profundas brechas tecnológicas, acompañadas de una marcada escasez de capital humano calificado en tecnologías digitales aplicadas a la logística. Esta situación no solo retrasa la implementación de innovaciones clave, sino que también debilita la capacidad de respuesta del sector frente a la creciente demanda de eficiencia, trazabilidad y sostenibilidad en la cadena de suministro.

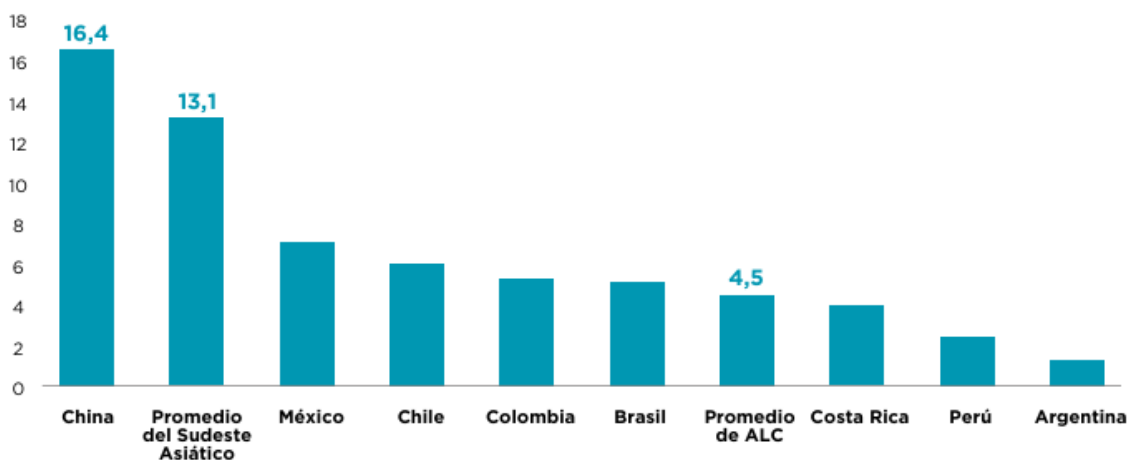
El tránsito hacia un modelo digital requiere más que inversión en hardware o conectividad, implica transformar el conocimiento operativo, adaptar marcos formativos que desarrollen competencias en analítica avanzada, automatización de flotas, gestión de datos en tiempo real y ciberseguridad logística.

Incluso cuando la empresa logra identificar un camino para su digitalización, la escasez de talento digital en el mercado laboral se transforma en otro obstáculo difícil de resolver. También se dificulta la contratación de proveedores tecnológicos o la formación de alianzas a este fin, debido a la escasez relativa de este tipo de organizaciones (Hirs Garzón & Vargas, 2023, p. 12).

Adicionalmente, el informe de la CEPAL (2020) señala que solo el 19 % de las instituciones de educación superior en la región ofrece programas técnicos o profesionales relacionados con logística 4.0 o transporte inteligente, lo que genera un desajuste estructural entre la oferta educativa y la demanda real del mercado laboral logístico. A esto se suma el fenómeno conocido como “fuga de talentos digitales”, en el cual profesionales calificados migran hacia sectores más rentables o a otros países con mayores oportunidades laborales y tecnológicas, profundizando la escasez de talento en el sector transporte.

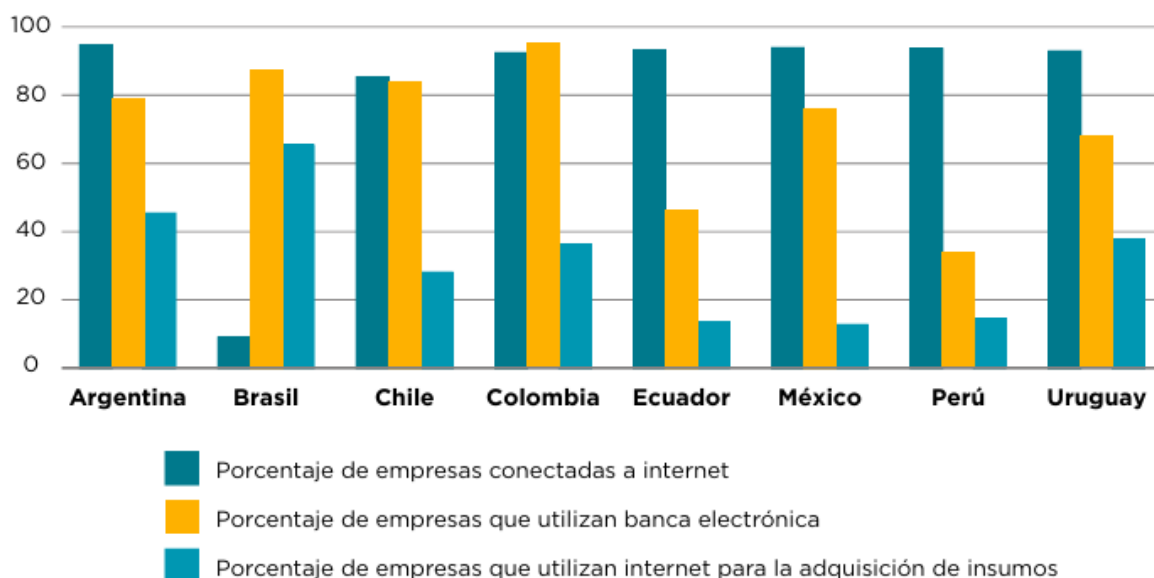
Figura 2

Variación Acumulada de la Adopción Digital en los Negocios: 2014-2016



Nota. La imagen describe el porcentaje de variación de cada país o región en la adopción de nuevas tecnologías para el desarrollo de sus negocios entre el año 2014 y 2016. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Prioridades-para-la-digitalizacion-empresarial-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Por otro lado, la transformación digital requiere un enfoque transversal que articule gobiernos, empresas y academia. Iniciativas como el programa Transporte Inteligente para la Movilidad Universal del BID han mostrado que el desarrollo de capacidades humanas es tan determinante como la inversión en infraestructura digital (Granada et al., 2018, p. 14). No obstante, estos programas siguen siendo escasos y focalizados, sin una estrategia regional sólida que impulse la masificación del conocimiento tecnológico en el transporte terrestre.

Figura 3*Digitalización de la Cadena de Aprovisionamiento 2018*

Fuente. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Prioridades-para-la-digitalizacion-empresarial-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

Finalmente, cabe resaltar que la transición hacia sistemas logísticos inteligentes exige además políticas públicas orientadas al fortalecimiento de capacidades humanas, tanto en el nivel operativo como en el nivel de toma de decisiones. Sin esta base humana sólida, los esfuerzos de inversión tecnológica corren el riesgo de ser subutilizados o mal implementados, perpetuando la ineficiencia operativa y el rezago competitivo del sector logístico.

Costos de Implementación y Acceso Desigual a Tecnologías

La digitalización de los sistemas logísticos implica altos costos iniciales de inversión en infraestructura tecnológica, sensores, plataformas de datos, software de gestión y mantenimiento especializado. Estos costos resultan bastante difíciles de cubrir para muchas empresas, sobre todo en contextos de inestabilidad económica y escasa financiación pública. Según el informe del

World Bank Group (2023), los altos costos y la falta de incentivos financieros ralentizan la adopción de STTI incluso en mercados con potencial logístico elevado.

La puesta en marcha de sistemas de transporte terrestre inteligente (ITS, por sus siglas en inglés) para mercancías, implica tanto elevados costos iniciales como desafíos de equidad en el acceso a tecnologías, lo que afecta la adopción y su beneficio generalizado. Los proyectos ITS suelen conllevar costos significativos que incluyen hardware (sensores, dispositivos embarcados en vehículos), infraestructura de comunicaciones, desarrollo de software, integración de datos y formación del personal según Greer et al. (2018). Las capacidades habilitadas incluyen seguimiento en tiempo real, analítica predictiva y conducción autónoma, tecnologías emergentes que implican mayores inversiones y riesgos tecnológicos.

El acceso a soluciones ITS está correlacionado con la capacidad financiera y técnica de las empresas. Las compañías grandes o multinacionales pueden asumir fácilmente inversiones, mientras que pequeñas y medianas empresas (PYMES) enfrentan barreras proporcionales más altas, reduciendo su competitividad.

De acuerdo con Dong et al. (2021) los costos de implementación de tecnologías emergentes, como vehículos eléctricos, inteligencia artificial o IoT, son elevados, lo que dificulta su adopción masiva. Además, existe un acceso desigual a estas innovaciones, especialmente entre regiones y actores logísticos, lo cual genera brechas tecnológicas, limitando los beneficios y aumentando la disparidad en competitividad y sostenibilidad.

En el artículo presentado por Wong et al. (2024), se evidencia cómo la adopción de tecnologías del transporte 4.0 está transformando la cadena de suministro al mejorar la visibilidad, eficiencia y toma de decisiones. Sin embargo, también enfrenta desafíos como altos

costos de implementación, falta de estandarización y brechas de conocimiento. La transición requiere estrategias colaborativas, inversión en infraestructura digital y adaptación organizacional para integrar exitosamente estas tecnologías en entornos logísticos cada vez más complejos y dinámicos.

Desigualdad Digital y Brecha Tecnológica Regional

La desigualdad digital y la brecha tecnológica regional constituyen barreras significativas para la transformación del transporte terrestre logístico en Sudamérica mediante tecnologías inteligentes. Estas brechas no solo se manifiestan entre países con diferentes niveles de desarrollo, sino también al interior de los mismos, afectando desproporcionadamente a pequeñas empresas, zonas rurales y regiones con baja densidad de infraestructura digital. Estas desigualdades limitan el acceso, uso y aprovechamiento efectivo de las tecnologías emergentes necesarias para el desarrollo de Sistemas de Transporte Terrestre Inteligente (STTI), comprometiendo la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la integración logística regional.

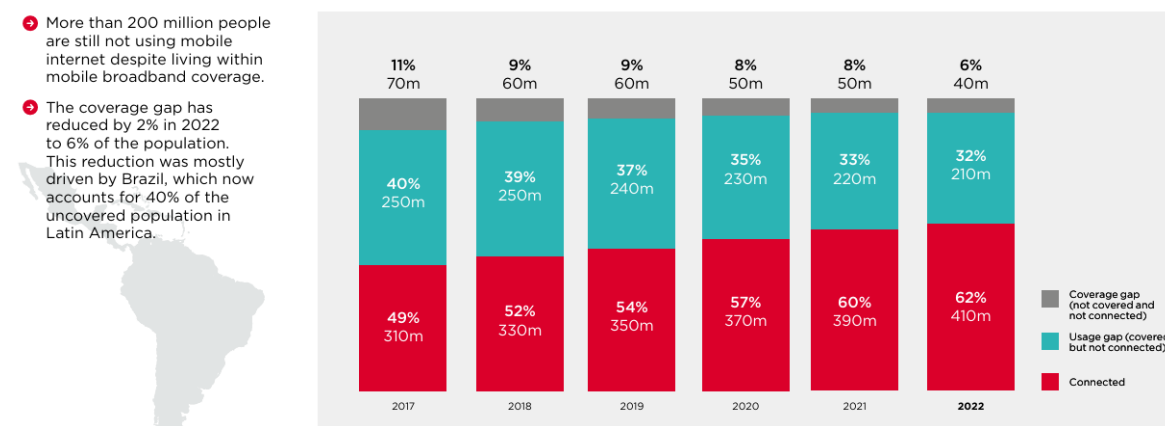
En Sudamérica, la brecha tecnológica entre países como Brasil, Chile y Colombia, que han avanzado en digitalización logística, contrasta con la situación de países como Bolivia, Paraguay y Venezuela, donde la adopción tecnológica en transporte terrestre es aún incipiente. Esa desigualdad compromete la eficiencia de las cadenas de suministro y limita la capacidad de la región para consolidar corredores logísticos inteligentes y sostenibles.

Adicionalmente, la desigualdad digital se manifiesta en la baja conectividad efectiva, aunque la cobertura de redes móviles ha mejorado en muchos países sudamericanos, persiste una “brecha de uso” significativa: millones de personas y empresas tienen acceso físico a conectividad móvil pero no la utilizan, debido a factores como el costo de los dispositivos, planes de datos inasequibles o la falta de competencias digitales. Según el informe de

Organización Global de Operadores de Telefonía Móvil (2023), en América Latina más de 200 millones de personas no utilizan internet móvil pese a vivir bajo cobertura, lo que impacta directamente la viabilidad de servicios logísticos basados en datos en tiempo real.

Figura 4

Conectividad de Internet Móvil en América Latina y el Caribe



Nota. El gráfico representa la evolución de la cobertura y uso de la red de internet móvil desde el 2017 hasta el 2022 en América Latina y el Caribe. Tomado de Organización Global de Operadores de Telefonía Móvil. (2023). *The State of Mobile Internet Connectivity 2023*. GSMA

La brecha digital no solo es territorial, sino también sectorial. Las PYMES del sector logístico, que representan la mayoría de los operadores de transporte terrestre, enfrentan limitaciones estructurales para acceder a tecnologías avanzadas. Estas empresas carecen de recursos financieros, capacidades de análisis y personal técnico especializado para implementar soluciones digitales adaptadas a sus necesidades. Esta situación produce un ecosistema desigual,

en el cual solo las grandes empresas logísticas pueden adoptar tecnologías emergentes de manera eficiente y sostenible.

La desigualdad digital y la brecha tecnológica regional no solo frenan la modernización del transporte terrestre en Sudamérica, sino que también afectan su integración logística y su inserción competitiva en cadenas globales de valor. Para que los STTI se conviertan en una herramienta real de transformación productiva y sostenibilidad, es indispensable cerrar estas brechas mediante una gobernanza digital inclusiva, una infraestructura tecnológica robusta y una agenda regional compartida que ponga la equidad digital en el centro de la transformación logística del continente.

Riesgos de Ciberseguridad y Protección de Datos

La implementación de tecnologías digitales en el transporte terrestre también implica nuevos riesgos asociados a la ciberseguridad y la protección de datos sensibles. La infraestructura digital vulnerable puede ser blanco de ataques informáticos que comprometan la continuidad operativa, la privacidad de la información y la trazabilidad de mercancías. Por tanto, las empresas logísticas deben invertir también en sistemas de seguridad informática robustos, lo que representa una carga adicional.

La implementación de Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) aplicados al transporte terrestre de mercancías introduce nuevas amenazas de ciberseguridad y desafíos en materia de protección de datos, derivados de la interconexión masiva entre vehículos, operadores logísticos, infraestructuras y plataformas digitales.

Panorama de Amenazas en ITS Logísticos

Los riesgos incluyen ataques a infraestructuras críticas, robo de datos, manipulación de sistemas y vulnerabilidades por falta de protocolos de seguridad. América Latina muestra avances, pero persisten brechas en legislación, inversión y capacidades técnicas, lo que deja expuestos a los sistemas logísticos a incidentes con alto impacto económico y operativo. La creciente interdependencia entre tecnologías de información y operaciones expone el ecosistema a amenazas complejas como ransomware, phishing, suplantación de dispositivos, ataques al servicio y malware en sistemas críticos como telemática y gestión de flotas, de acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (2020).

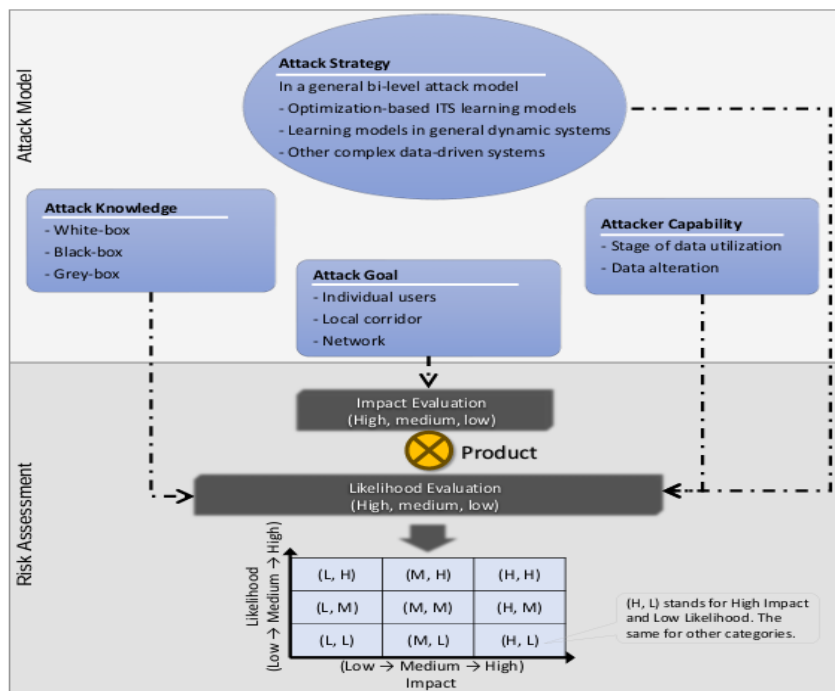
Además, las redes internas de los vehículos (ECUs y buses CAN) son especialmente sensibles a ataques de spoofing, sniffing, inyección de datos o denegación de servicio, lo que puede permitir a un atacante tomar el control del vehículo o manipular indicadores críticos como frenos o aceleración —como se demostró sobre camiones pesados utilizando el estándar J1939— con implicaciones graves para la seguridad física, según una publicación de Greebberg (2016).

Vulnerabilidades Emergentes: Data Poisoning y Ataques de Información Engañosa

La dependencia de análisis predictivo y decisiones automatizadas en ITS implica que los ataques de envenenamiento de datos (data poisoning) representan una amenaza grave: los atacantes pueden introducir perturbaciones en datos de sensores o registros históricos para corromper algoritmos de aprendizaje automático o afectar decisiones en tiempo real como rutas o cargas. Al volverse altamente dependientes de datos, se tornan vulnerables a ataques que manipulan información crítica, infraestructura y comunicaciones V2X (Wang et al., 2024).

Figura 5

Vista General del Riesgo de Ataque (Data Poisoning) al Transporte Terrestre en Logística



Nota. La imagen representa la evaluación del riesgo de ataque a los sistemas de datos del vehículo en la modalidad Data Poisoning.

Tomado de Wang, F., Wang, X., & Ban, X. (2024). *Data Poisoning Attacks in Intelligent Transportation Systems: A Survey*.

Protección de Datos Personales y Privacidad

El uso intensivo de telemática, seguimiento de vehículos, datos biométricos para acceso de personal o gestión de conductores, abre riesgos importantes respecto a la privacidad y cumplimiento legal. La recopilación, almacenamiento y análisis de datos sensibles como ubicación, comportamiento del conductor, rutas, entre otras, exige cumplimiento normativo con

leyes como ISO/SAE 21434 (automotores), normas UNECE R155/R156 y regulaciones regionales como la LGPD en Brasil o GDPR en la Unión Europea.

Garantizar la seguridad de los datos y de las redes de comunicación en la gestión de las flotas, se presenta como otro desafío que debe ser superado para que la implementación de los sistemas de transporte inteligentes en la logística de Sudamérica sea una realidad y un éxito.

Oportunidades de Innovación Tecnológica Aplicables a los Sistemas de Transporte Terrestre para Mejorar la Efectividad Operativa en la Logística de la Región

En medio de obstáculos y desafíos para el desarrollo de sistemas de transporte terrestres inteligentes en logística, las tecnologías emergentes se presentan como un catalizador para transformarlos y sacarlos a flote. La aplicación estratégica de innovaciones digitales puede incrementar significativamente la efectividad operativa, reducir los costos logísticos y optimizar la trazabilidad, seguridad y calidad del servicio en la cadena de suministro.

Internet de las Cosas (IoT) y Sensores Inteligentes

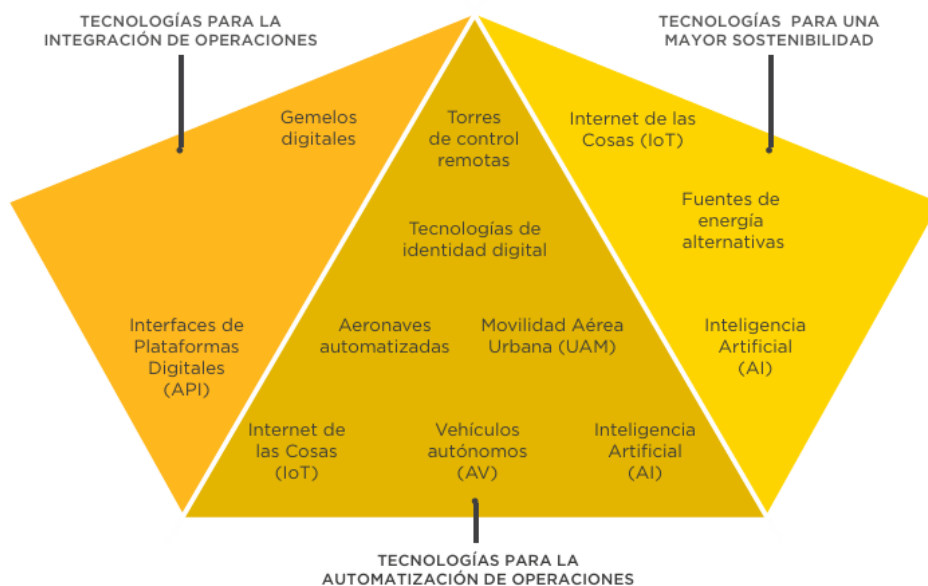
El IoT permite la interconexión de dispositivos físicos con plataformas digitales, lo que mejora la trazabilidad, el mantenimiento predictivo y la eficiencia de las rutas. La implementación de sensores en flotas vehiculares permite recopilar datos en tiempo real sobre velocidad, consumo de combustible, estado de carga, ubicación y condiciones del vehículo, contribuyendo a una gestión logística más eficiente y basada en datos.

Un caso de éxito nos lo presenta la empresa Volvo Trucks, la cual, implementó sensores IoT en sus camiones de carga pesada para realizar mantenimiento predictivo y monitorear en tiempo real el comportamiento del vehículo. Esto reduce los tiempos de inactividad no planificados y aumenta la eficiencia del consumo de combustible. A través de la plataforma Volvo Connect, se recopilan y analizan datos de operación de la flota constantemente (Volvo Trucks, 2025).

Según Catalayud et al. (2022), el IoT podría mejorar hasta en un 25 % la eficiencia operativa en corredores logísticos que adoptan sensores integrados y plataformas de monitoreo en tiempo real. Esta tecnología permite reducir viajes vacíos, prevenir fallas mecánicas e identificar cuellos de botella en la red vial.

Figura 6

Nuevas Tecnologías Aplicables a los Sistemas de Transporte en Logística



Fuente. Tomado de Catalayud, A., Katz, R., & Riobó, A. (2022). Impulsando la Transformación Digital del Transporte en América Latina y el Caribe .

Big Data y Analítica Predictiva

La integración de Big Data y la analítica avanzada en el transporte terrestre posibilita un análisis masivo de datos logísticos, lo que permite detectar patrones de consumo, prever la demanda y optimizar la planificación de rutas. Estos sistemas brindan ventajas competitivas mediante la toma de decisiones basada en evidencias.

La empresa Rappi utiliza big data y algoritmos de analítica predictiva para optimizar rutas de entrega, predecir la demanda y mejorar los tiempos de espera del cliente. La compañía ha desarrollado herramientas propias de “machine learning” que identifican patrones de tráfico

urbano y comportamiento del consumidor, optimizando las entregas diarias (Belmonte et al., (2021).

Greer et al. (2018) destacan que el uso de big data y analítica predictiva en sistemas de transporte inteligente permite optimizar operaciones, anticipar riesgos y mejorar la asignación de recursos, lo que se traduce en reducciones significativas de costos operativos y mejoras en la eficiencia logística.

Inteligencia Artificial (IA) para la Automatización Logística

La IA permite automatizar procesos logísticos como el despacho de mercancías, la asignación de rutas y la gestión de flotas. Asimismo, sistemas basados en IA pueden responder de forma autónoma ante interrupciones, optimizando la toma de decisiones y reduciendo la intervención humana. CargoX, conocida como el Uber del transporte de carga en Brasil, implementó IA para automatizar la asignación de cargas a transportadores, el monitoreo de rutas y el cálculo de precios dinámicos. Esta plataforma digital conecta a más de 900.000 transportadores independientes con empresas que requieren servicios logísticos, utilizando algoritmos inteligentes que analizan demanda, distancia, tipo de mercancía y condiciones del mercado (CargoX, 2005).

Wong et al. (2024), argumentan que, la IA permite automatizar procesos logísticos en el transporte terrestre, mejorando la toma de decisiones, optimizando rutas y reduciendo la intervención humana. Gracias a algoritmos inteligentes, se logra mayor eficiencia operativa, respuesta ágil ante cambios del entorno y disminución de errores, lo que fortalece la competitividad de las cadenas de suministro en un mercado altamente exigente.

Figura 7

Áreas de Aplicación de la IA en los Sistemas de Transporte de Mercancías



Nota. La imagen representa las áreas en las que se puede hacer uso de Inteligencia Artificial para la gestión de la información y comunicación entre los elementos del sistema de transporte. Tomado de Greer , L., Fraser, J., Hicks, D., Mercer, M., & Thompson, K. (2018). *Intelligent Transportation Systems: Benefits, Costs, and Lessons Learned*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.

Blockchain y Trazabilidad Segura

La tecnología blockchain mejora la transparencia y la seguridad de las cadenas logísticas mediante el registro descentralizado e inmutable de transacciones. En el transporte terrestre, esto se traduce en mayor confiabilidad en la entrega de productos, integridad documental y reducción del fraude. El proyecto TradeLens, desarrollado por IBM y Maersk, utiliza blockchain para mejorar la trazabilidad de contenedores y la transparencia documental en la cadena logística. (López, 2019). Puertos como el de Callao (Perú) y Cartagena (Colombia) han integrado esta tecnología para reducir tiempos de despacho y evitar fraudes.

De acuerdo con Dong et al. (2021) el blockchain aporta una capa de seguridad y transparencia crucial para la trazabilidad en el transporte de carga. Al garantizar la integridad de los datos y permitir el acceso compartido entre múltiples actores, esta tecnología mejora la integración de la operación y la confianza en la cadena logística. Además, facilita la colaboración y la gestión eficiente de inventarios al registrar transacciones de manera que no se pueden editar, lo que reduce fraudes, errores y mejora la visibilidad de extremo a extremo en tiempo real.

Vehículos Autónomos y Conectados (CAV)

La integración de vehículos autónomos en la logística terrestre es una tendencia emergente con alto potencial de transformación. Estos vehículos pueden operar sin intervención humana, disminuyendo los errores operativos y optimizando los tiempos de entrega. Además, la conectividad entre vehículos (V2V) y con la infraestructura (V2I) permite mejorar la fluidez del tráfico y reducir los accidentes. Greer et al. (2018), expresa que, los Vehículos Autónomos y Conectados (CAV) transforman el transporte terrestre mediante la automatización y la comunicación en tiempo real. Su implementación en entornos logísticos mejora la eficiencia operativa, reduce riesgos de accidentes y optimiza el flujo vehicular. Además, los CAV facilitan la toma de decisiones inteligentes y permiten una movilidad más segura, eficiente y sostenible.

Scania inició pruebas piloto de camiones autónomos para operaciones logísticas internas en minas y puertos. Estas unidades, conectadas con sensores LIDAR y sistemas de navegación GPS, operan con mínima intervención humana y han mostrado una mejora en la seguridad operacional (Transporte.MX, 2016).

Plataformas de Gestión Logística en la Nube

Las plataformas en la nube permiten la centralización y disponibilidad en tiempo real de información operativa, lo cual facilita la toma de decisiones descentralizada y mejora la coordinación entre actores logísticos. Estas plataformas ofrecen interfaces colaborativas para transportadores, clientes y operadores logísticos, aumentando la eficiencia de las operaciones. Según The World Bank Group (2023), las plataformas de gestión logística basadas en la nube son esenciales para mejorar la eficiencia en entornos logísticos complejos. Estas soluciones permiten la operación entre sistemas, facilitan el acceso en tiempo real a datos operativos y fortalecen la toma de decisiones colaborativa. Además, promueven una logística más ágil y robusta, al reducir barreras tecnológicas, optimizar recursos y mejorar la visibilidad de extremo a extremo en la cadena de suministro en la región.

Beetrack, una startup chilena adquirida por DispatchTrack, desarrolló una plataforma en la nube para gestión y monitoreo de entregas en tiempo real, utilizada por múltiples empresas en el país y fuera de él. La solución mejora la visibilidad de la última milla y reduce en hasta un 20 % los errores logísticos (DispatchTrack, 2021).

Además de facilitar la visibilidad en tiempo real y la toma de decisiones colaborativa, estas plataformas permiten una mayor adaptabilidad frente a entornos logísticos exigentes, integrando herramientas de automatización, inteligencia artificial y analítica avanzada. Gracias a su escalabilidad, las plataformas en la nube pueden ser implementadas progresivamente por empresas de todos los tamaños, lo cual democratiza el acceso a tecnologías de alto valor. Asimismo, la nube facilita la integración entre sistemas de gestión de flotas, almacenes y plataformas de atención al cliente, generando un ecosistema digital interconectado. Esta

conectividad favorece la planificación estratégica, la reducción de tiempos muertos y la mejora en la experiencia del cliente final.

Interfaz Hombre-Máquina (HMI) y Realidad Aumentada

En el ámbito del mantenimiento de vehículos de carga y operaciones de bodega, las interfaces avanzadas como pantallas inteligentes y realidad aumentada permiten mejorar la capacitación del personal, facilitar inspecciones técnicas y reducir los tiempos de inactividad. Estos sistemas también mejoran la seguridad del operario y reducen la probabilidad de errores humanos. Mercedes-Benz ha equipado centros de servicio con Microsoft HoloLens 2 y una plataforma de colaboración remota (Dynamics 365) para permitir que técnicos locales reciban asistencia de especialistas en tiempo real. Esto evita la necesidad de trasladar expertos físicamente. El sistema proyecta diagramas, esquemas y permite visualización directa sobre la visión del técnico *in situ* (Forbes, 2023).

Un estudio del BID (2023), revela que la realidad aumentada en talleres de mantenimiento logístico puede reducir en un 25 % el tiempo de reparación y mejorar el cumplimiento de protocolos de seguridad.

Logística Colaborativa y Plataformas de Matching

Otra oportunidad clave es el uso de plataformas digitales de “matching logístico”, que permiten conectar en tiempo real la oferta y la demanda de servicios de transporte terrestre. Estas herramientas, impulsadas por algoritmos de optimización, facilitan el aprovechamiento de capacidades ociosas, reduciendo los viajes vacíos y mejorando la rentabilidad de los operadores logísticos. Liftit es una plataforma que conecta transportadores de última milla con empresas que necesitan servicios de entrega, usando algoritmos de “matching” para optimizar disponibilidad,

tiempos y rutas. Esta herramienta ha ayudado a reducir los viajes vacíos y mejorar la rentabilidad del transporte (Liftit, 2025).

De acuerdo con Wong et al. (2024), la logística colaborativa, facilitada por plataformas digitales de *matching*, permite a múltiples actores compartir recursos logísticos como vehículos, almacenes y rutas, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo costos. Estas plataformas conectan en tiempo real la oferta y demanda de servicios logísticos, promoviendo sinergias entre empresas grandes y pequeñas. Además, mejoran la visibilidad de la cadena de suministro, fomentan la sostenibilidad y democratizan el acceso a tecnologías avanzadas, especialmente en corredores logísticos estratégicamente conectados.

En regiones con baja densidad de carga o retornos frecuentes sin mercancía, estas soluciones son vitales para reducir los viajes vacíos. También contribuyen a disminuir la congestión del tráfico y el consumo de combustible, aspectos clave en los objetivos de sostenibilidad.

Tabla 1

Empresas que han Aplicado las Tecnologías Emergentes en la Gestión del Transporte Terrestre en Logística

| Tecnología / Innovación | Aplicación | Caso de Éxito |
|--|---|--|
| Internet de las cosas (IoT) | Monitoreo en tiempo real de flotas, mantenimiento predictivo, seguimiento de cargas | Volvo Trucks Brasil: sensores IoT y plataforma <i>Volvo Connect</i> para análisis operativo en flotas de carga |
| Big data y analítica predictiva | Optimización de rutas, predicción de demanda, asignación de recursos | Rappi Colombia: algoritmos predictivos y machine learning para logística urbana |
| Inteligencia artificial (IA) | Automatización del despacho, cálculo dinámico de precios, gestión inteligente de flotas | CargoX Brasil: IA para conectar transportistas y cargas en tiempo real |
| Blockchain | Registro seguro de transacciones, trazabilidad de documentos, reducción de fraudes | TradeLens (IBM + Maersk): usado en puertos como Callao y Cartagena para trazabilidad segura |
| Vehículos autónomos y conectados (CAV) | Conducción automatizada, reducción de errores humanos, seguridad y eficiencia en operaciones internas | Scania Brasil: pruebas con camiones autónomos en minas y terminales logísticas |
| Gestión logística en la nube | Visualización y control de entregas, coordinación entre actores, eficiencia en la última milla | Beetrack (Chile): plataforma en la nube para grandes marcas como Nestlé y Cencosud |
| Interfaz hombre-máquina (HMI) y realidad aumentada | Diagnóstico y reparación técnica, capacitación remota, mejora de seguridad y eficiencia operativa | Mercedes-Benz Trucks Colombia: soporte técnico con |

| Tecnología / Innovación | Aplicación | Caso de Éxito |
|---|--|--|
| Logística colaborativa (Matching) | Conexión en tiempo real de carga y transporte, reducción de viajes vacíos, acceso digital para PYMES | realidad aumentada en operaciones logísticas Colaborativa para transporte urbano y regional |

Nota. La tabla muestra la aplicación de nuevas tecnologías hechas por las empresas del sector transporte terrestre para optimizar las operaciones en América Latina. Elaboración propia a partir de las fuentes consultadas.

Sostenibilidad Ambiental en la Modernización Tecnológica del Transporte Terrestre Logístico de Sudamérica

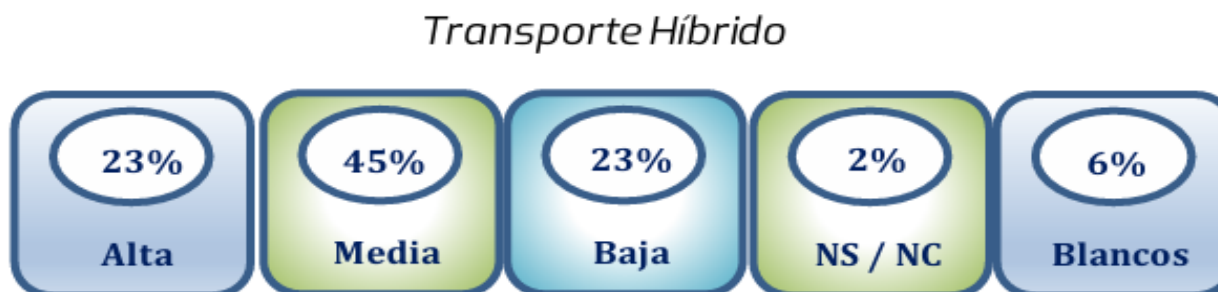
La sostenibilidad ambiental se ha convertido en un imperativo global, y el sector logístico no es ajeno a esta tendencia. En la región Sudamericana, donde el transporte terrestre representa la mayoría de la carga movilizada, su impacto ambiental es significativo, siendo responsable de alrededor del 40 % de las emisiones de CO₂ del sector transporte, de acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (Catalayud et al., 2024). Es por eso que, la modernización tecnológica del transporte terrestre ofrece una oportunidad estratégica para reducir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia energética y cumplir con los compromisos climáticos asumidos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El Reto Ambiental del Transporte Terrestre en Sudamérica

Las emisiones provenientes del transporte logístico son agravadas por factores como la antigüedad del parque automotor, la congestión vial, el uso intensivo de combustibles fósiles y las ineficiencias operativas estructurales. Según la Organización Latinoamericana de Energía – (OLADE, 2020), los derivados del petróleo siguen siendo la fuente principal de energía lo que incrementa la huella de carbono y dificulta la transición hacia una logística más sostenible. Sin embargo, los países de la región ya han detectado un alto potencial en el uso de energías renovables con visión al año 2040, lo que significa un avance significativo en el proceso de descarbonización de la industria.

Figura 8

Países que ven el Transporte Híbrido como una Opción de Transición Energética en el Transporte

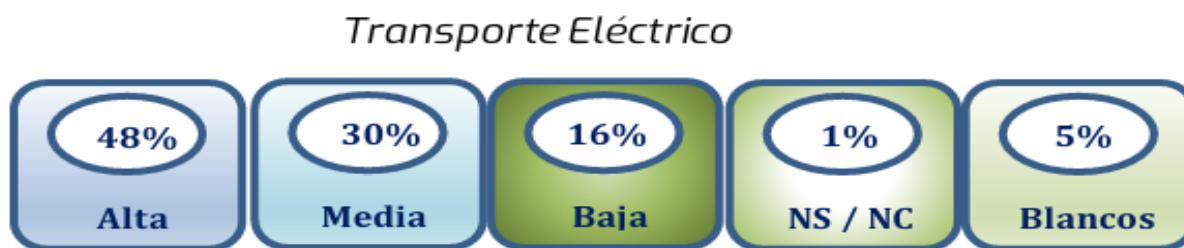


Nota. La imagen representa los resultados de la encuesta realizada en 27 países de la región.

Tomado de Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2020). *Barómetro de la energía de América Latina y el Caribe 2020: las perspectivas del desarrollo del sector energético en la región.* Quito - Ecuador: OLADE.

Figura 9

Países que ven el Transporte Eléctrico como una Opción de Transición Energética en el Transporte



Nota. La imagen representa los resultados de la encuesta realizada en 27 países de la región.

Tomado de Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2020). *Barómetro de la energía de América Latina y el Caribe 2020: las perspectivas del desarrollo del sector energético en la región.* Quito - Ecuador: OLADE.

Figura 10

Países que Proyectan Cambio en la Modalidad de Transporte Terrestre



Nota. La imagen representa los resultados de la encuesta realizada en 27 países de la región.

Tomado de Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2020). *Barómetro de la energía de América Latina y el Caribe 2020: las perspectivas del desarrollo del sector energético en la región*. Quito - Ecuador: OLADE.

Un informe presentado por el Consejo Internacional del Transporte Limpio, nos muestra que, uno de los principales retos para lograr la descarbonización del transporte está en el sector de carga terrestre. Además de ser el medio de transporte de mercancías primario en la región, abarcando más del 70% de la carga transportada, contribuye con el 47% del total de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, impactando adversamente tanto el clima como la salud de la población en sus 33 países (Acevedo et al., 2023).

Además, el uso de vehículos con combustible Diésel, expulsa a la atmósfera partículas suspendidas como PM₁₀, PM_{2.5} y moléculas de O₃, generando gases de efecto invernadero, representando un riesgo para la salud pública, afectando la calidad del aire y contribuyendo al aumento del cambio climático mundial.

Nuestras estimaciones sugieren que, de no tomarse acciones, las emisiones de CO₂ en el transporte podrían aumentar en un 17% para el año 2050 respecto al 2019. En cambio, cumplir con los objetivos del Acuerdo de París exige una reducción del 47% en las emisiones del transporte en la región al 2050 respecto a los niveles del 2019 (Catalayud, 2023, p. 42)

Tabla 2

Estadísticas Sobre Emisiones Contaminantes Producidas por los Sistemas de Transporte

Terrestre

| Ítem | Valor | Comentario |
|--|--------------------------------|--|
| Emisiones de CO ₂ por transporte de carga | 215,2 MT CO ₂ | 47 % del total del sector transporte en América Latina |
| Participación del transporte de carga | >70 % | Del total de carga transportada en América Latina |
| Contribución al PIB regional | 6 % | Entre 2015 y 2018 |
| Consumo de diésel en América Latina | 38 % | Del total de combustibles (2019) |
| Consumo de diésel en Colombia | 133,2 PJ | 38 % del consumo de combustibles (2019) |
| Consumo de diésel en Brasil | 2.510 PJ | 70 % del consumo de combustibles (2019) |
| Emisiones NO _x totales región | 388.300 ton CO ₂ eq | Año 2019 |
| Emisiones NO _x Brasil | 182.050 ton CO ₂ eq | Año 2019 |
| Emisiones NO _x Argentina | 48.350 ton CO ₂ eq | Año 2019 |
| Emisiones NO _x México | 44.150 ton CO ₂ eq | Año 2019 |

| Ítem | Valor | Comentario |
|--|--------------------|---|
| Emisiones NOx Colombia | 22.860 ton | Año 2019 |
| | CO ₂ eq | |
| PM2.5 muertes prematuras globales | 2,9 millones | Año 2017 |
| Ozono troposférico muertes globales | 472.000 | Año 2017 |
| Vehículos pesados en la flota | <10 % | Contribuyen hasta 40 % de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector |
| Muertes atribuibles al transporte (México) | 36.000 | Todas las fuentes de contaminación (2015) |
| Muertes por PM2.5/Ozono (México) | 8.100 | Año 2015 |
| Muertes atribuibles al transporte (Brasil) | 52.000 | Todas las fuentes de contaminación (2015) |
| Muertes por PM2.5/Ozono (Brasil) | 5.700 | Año 2015 |
| Participación vehículos diésel en México | 39 % | De la flota de transporte de carga |
| Participación vehículos diésel en Brasil | 50 % | De la flota de transporte de carga |

Nota. La tabla muestra el porcentaje promedio de emisiones contaminantes producidas por los sistemas de transporte terrestre en América Latina. Elaboración propia a partir de la información de Catalayud, A. (08 de 12 de 2023). <https://blogs.iadb.org/> Obtenido de [https://blogs.iadb.org/transporte/es/transporte-y-cambio-climatico-en-america-latina-y-el-caribe-desafios-y-oportunidades/](https://blogs.iadb.org/https://blogs.iadb.org/transporte/es/transporte-y-cambio-climatico-en-america-latina-y-el-caribe-desafios-y-oportunidades/)

Gestionar flotas de transporte terrestre de mercancías que sean efectivas operacionalmente y que al mismo tiempo sean ambientalmente sostenibles, es un reto que enfrenta la logística de la región con miras al cumplimiento de acuerdos internacionales, políticas públicas y el equilibrio ambiental del planeta.

Tecnologías Limpias y Reducción de Emisiones

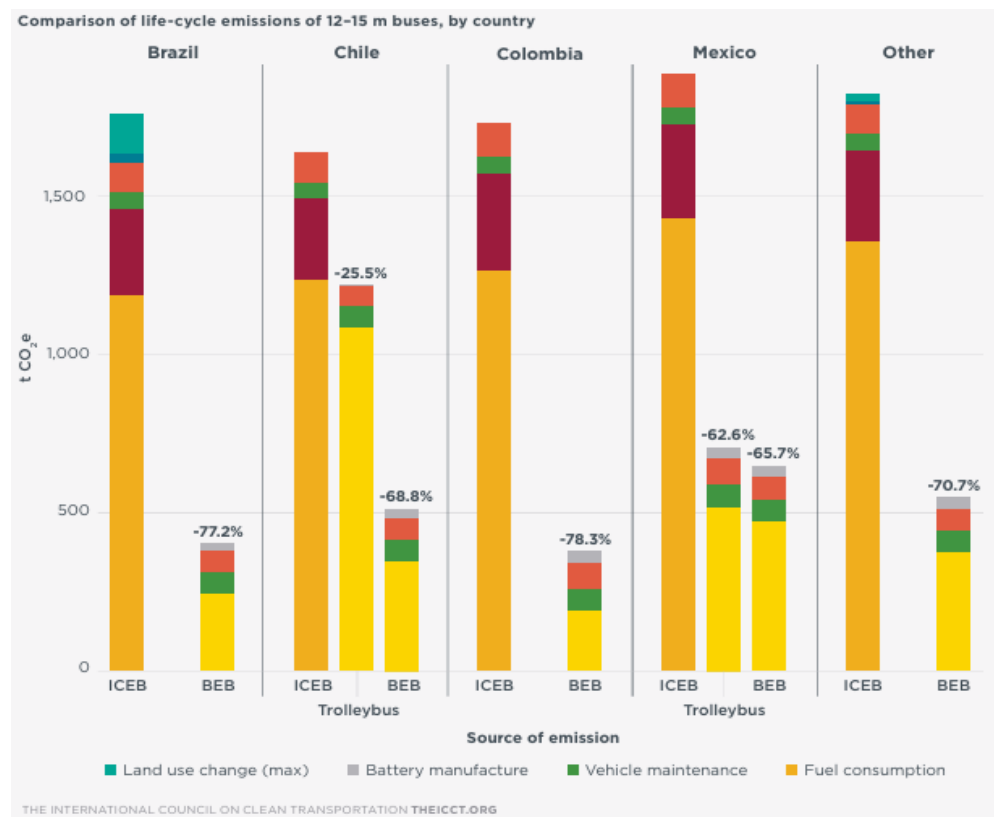
La incorporación de tecnologías limpias en el transporte terrestre de mercancías es una de las principales estrategias para reducir el impacto ambiental generado.

La llegada de los vehículos eléctricos (EV) al transporte de mercancías representa un cambio fundamental para la descarbonización del sector. En algunos países de Suramérica, aunque las ventas son más visibles en vehículos para pasajeros, ya se observa una adopción pionera en el transporte pesado. Por ejemplo, Chile se posiciona como líder con flotas urbanas eléctricas en empresas de retail y logística: Walmart opera más de 45 camiones eléctricos, (Walmart Chile, 2024). Sotraser ha desplegado más de 50 Foton eAuman eléctricos (Heufemann, 2025) y Mercado Libre ha impulsado un terminal de carga "electro-logístico". (Diario Sustentable, 2022). Estas implementaciones por parte de grandes empresas crean una iniciativa con un futuro prometedor en la tarea de la transición energética en el sector de transporte terrestre de mercancías. “Hubo desarrollos positivos en otras partes del mundo, como en Brasil, donde se vendieron casi 500 camiones eléctricos en 2024”. (Agencia Internacional de la Energía [IEA], 2025)

Desde el punto de vista ambiental, los autobuses eléctricos ofrecen importantes reducciones de emisiones, un autobús eléctrico emite menos gases de efecto invernadero si se compara con motores de combustión interna.

Figura 11

Comparación de Emisiones Contaminantes de un Motor de Combustión Interna y un Bus Eléctrico



Nota: La imagen compara la cantidad de monóxido de carbono emitida por motores de combustión interna vs. vehículos eléctricos. Tomado de Rodrigues, H., Cieplinski, A., Logiodice, P., Haytzmann, G., & Rebouças, A. B. (20 de 05 de 2025). <https://theicct.org/>. Obtenido de <https://theicct.org/>: <https://theicct.org/publication/latin-america-ebus-market-monitor-2024-may25/>

Aunque este dato se aplica al transporte urbano de pasajeros, su relevancia es clara, la descarbonización del transporte terrestre de mercancías mediante vehículos eléctricos puede replicarse con impacto significativo, especialmente si la energía proviene de fuentes renovables.

El despliegue global de autobuses eléctricos también refleja la evolución tecnológica con casi 50.000 unidades vendidas en 2023 y un parque global cercano a 635.000 vehículos, destacando la factibilidad y escalabilidad de esta tecnología. (Agencia Internacional de la Energía [IEA], 2025).

La planificación eco eficiente aplica tecnologías como inteligencia artificial (IA), big data y algoritmos de optimización para mejorar la eficiencia operativa del transporte terrestre. Motiva rutas que minimizan consumo de combustible y emisiones, lo que puede generar impactos tangibles en reducción de CO₂. En un estudio tecnológico reciente, se diseñó un modelo que determina la “ruta más verde” al considerarse datos de elevación y condiciones de carga; se observó que, en promedio, estas rutas dinámicas pueden reducir entre 2 % y 10 % las emisiones de CO₂ según la ciudad y tipo de camión analizado. (Moradi et al., 2025).

Otra línea de investigación más integral propone modelos de transporte multimodal que incorporan restricciones de emisiones y costos. Empleando programación lineal entera para optimizar redes logísticas (incluyendo vehículos propios o de terceros), se concluyó que políticas ambientales estrictas incrementan los costos en solo 8 %, mientras logran una significativa reducción del impacto ambiental (Javanpour et al., 2025).

Si bien estos estudios no son exclusivamente suramericanos, su aplicabilidad es directa. La implementación local debe considerar nuestra topografía, congestión y condiciones operativas. Herramientas como sistemas de monitoreo en tiempo real, GPS y software analítico ya están presentes en algunos corredores logísticos, pero su uso focalizado en la eco eficiencia todavía requiere políticas de incentivo, capacitación técnica y datos de transporte de alta calidad. Rutas inteligentes y planificación eco eficiente aportan metodologías probadas para mitigar emisiones en logística terrestre. La combinación de big data, formación de convoyes y

optimización multimodal son estrategias complementarias que pueden generar ahorros cuantificables y sostenibles.

La logística colaborativa consiste en compartir recursos logísticos para mejorar eficiencia, reducir costos y minimizar viajes sin carga. En América Latina, esta tendencia está en crecimiento en países como México, Colombia y Perú, gracias a soluciones digitales que facilitan el “matching” entre oferta y demanda de transporte.

Modelos colaborativos en otros contextos han demostrado que pueden mejorar considerablemente el uso de flota y reducir emisiones por tonelada transportada. Aunque no siempre cuantificados, referencias del Banco Interamericano de Desarrollo sostienen que este enfoque puede mejorar la eficiencia operativa de corredores logísticos en más de un 50 % en entornos bien conectados, beneficiando a pequeñas PYMES que antes no accedían a cargas consolidadas (2020).

El sector privado ya participa activamente en esta transformación, plataformas como Liftit y CargoX implementan algoritmos que asignan cargas disponibles a transportadores independientes, reduciendo viajes vacíos y tiempos de espera. Estas herramientas han demostrado reducir costos logísticos y consumo energético, con un impacto positivo en sostenibilidad (The Logistics World, 2024). Las iniciativas colaborativas representan una oportunidad clave de reducción de emisiones, al disminuir viajes ineficientes se reducen costos operativos, congestión vial y contaminación. La equidad tecnológica es otro beneficio, pequeñas empresas logísticas ganan acceso a mercados más amplios mediante plataformas colaborativas, democratizando el beneficio ambiental.

Para maximizar los resultados, se necesita fomentar la integración entre plataformas, generar confianza entre actores logísticos y diseñar políticas públicas que recompensen prácticas

colaborativas, mediante incentivos fiscales, certificaciones ambientales o acceso preferencial a corredores.

Centros de distribución y terminales intermodales están incorporando paneles solares y sistemas de eficiencia energética. Mercado Libre considera la sustentabilidad como parte central de su estrategia, impulsando proyectos como Regenera América, que desde 2021 destina millones de dólares a restauración y conservación de *Biomás* en Brasil y México. Desde 2020, sus oficinas y centros de distribución en Brasil funcionan con energía 100 % renovable. Además, promueve movilidad sostenible con flotas eléctricas y vehículos a gas o biometano, y apuesta por la circularidad mediante empaques reciclables, compostables y reciclado (Mercado Libre, 2024).

Utilizar energías renovables como la fotovoltaica, es un aporte muy importante al reto del cuidado del planeta, demuestra que las operaciones sí pueden ser sustentables y aunque representa un alto costo de inversión inicial, los resultados a mediano y largo plazo por ahorro en pagos de energía eléctrica, compensan el esfuerzo realizado.

Tabla 3*Empresas que han Realizado Inversiones en Energías Renovables*

| Empresa | País(es) | Tipo de Intervención | Año | Detalle | Fuente |
|---------------|-----------------------------|---|-------------|--|---|
| Mercado Libre | Argentina, Brasil, Colombia | PPA y paneles solares en centros logísticos | 2024 | Instalación fotovoltaica en Funza (Colombia) y uso de energía renovable en Brasil y Argentina. | https://news.mercadolibre.com/mercado-libre-sustentabilidad |
| GLP + DHL | Brasil | Instalación solar en centro de distribución | 2024 | Gran instalación solar en Louveira (SP) cubre parte importante de la demanda del DC. | https://www.glp.com/global/article/glp-and-dhl-open-largest-solar-powered-logistics-facility-brazil |
| Amazon | Brasil y otros | Proyectos solares y compra de energía renovable | 2023-2024 | Proyectos solares en Brasil para abastecer operaciones en Sudamérica. | https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/amazon-meets-100-renewable-energy-goal-seven-years-early |
| Grupo Bimbo | Chile y otros | Techos solares en centros logísticos | 2019 | Programa "Bimbo Solar" incluye grandes instalaciones fotovoltaicas en Chile. | https://www.grupobimbo.com/es/prensa/noticias/grupo-bimbo-inaugura-su-primer-sistema-de-paneles-solares-en-chile |
| Cencosud | Chile, Argentina | Paneles solares y | 2020 - 2023 | Incremento de energía renovable | https://www.igds.org/fileadmin/uploads/igds/Documents/Research |

| Empresa | País(es) | Tipo de Intervención | Año | Detalle | Fuente |
|------------------------|-------------------|--|----------------|---|---|
| | na, Perú | suministro renovable | | en centros logísticos y tiendas. | Reports/2021/Cencosud-Paris_Department_Store_Annual_Report_2020.pdf |
| Falabella / Sodimac | Chile y región | Energía renovable en logística y retail | 2021 - 2023 | Mayor parte de su energía proviene de fuentes renovables. | https://www.iads.org/files/standard/public/p3476_a3636487292ccfa30dad4bff6491079fCP-eng-Suministro-Elctrico.pdf |

Nota. La tabla muestra la inversión realizada por diferentes empresas en América del Sur para promover la sostenibilidad ambiental en el transporte terrestre de mercancías. Elaboración propia a partir de las fuentes consultadas.

Impulsar la Innovación Tecnológica, Mejorar la Eficiencia Operativa y Reducir el Impacto Ambiental del Transporte Terrestre Logístico en Sudamérica

De acuerdo con el contenido desarrollado en los capítulos anteriores, se ha podido identificar que, la innovación tecnológica en los sistemas de transporte terrestre en logística, depende de una integración de trabajo realizado por los diferentes países donde se establezcan marcos regulatorios que sirva como exigencia, pero al mismo tiempo como una hoja de ruta y que también brinde garantías de acceso, equidad y beneficios para las empresas sin importar el capital o tamaño. La formulación de políticas públicas claras y direccionadas hacia la inversión en el desarrollo de la infraestructura vial y tecnológica, la expansión de los mercados y convenios internacionales, van de la mano con el compromiso del sector productivo en capacitar al personal, actualizar sus flotas de transporte, desarrollar estrategias innovadoras para la gestión del parque automotor y mejorar su infraestructura con miras a una logística sostenible. Este trabajo mancomunado es la base para desarrollar sistemas de transporte terrestre inteligentes en la logística de la región y garantizar la competitividad a nivel global.

El transporte terrestre de mercancías se encuentra en un punto de inflexión estratégico. La convergencia entre innovación tecnológica, exigencias de eficiencia operativa y la necesidad de reducir el impacto ambiental genera un escenario que demanda acciones concretas y coordinadas. La transición hacia Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes (STTI) no solo representa una oportunidad para incrementar la competitividad regional, sino también un paso fundamental hacia la sostenibilidad y el cumplimiento de los compromisos internacionales en materia climática.

Este capítulo plantea un conjunto de recomendaciones estratégicas, orientadas a impulsar la innovación tecnológica, mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental del transporte terrestre logístico en Sudamérica.

Estrategias para Impulsar la Innovación Tecnológica

Implementar programas de inversión público-privada para digitalizar PYMES logísticas, esto permite combinar subsidios, garantías y compras públicas del lado estatal con capital know-how y plataformas SaaS del sector privado. El objetivo es escalar el acceso a herramientas de monitoreo de flotas y cargas, optimización algorítmica de rutas y trazabilidad segura, reduciendo costos operativos, tiempos e incertidumbre. En la región, el Banco Interamericano de Desarrollo - BID ha promovido pilotos y marcos de política para la transformación digital del transporte, resaltando que, los programas con cofinanciación y evidencia de impacto aceleran la adopción tecnológica en logística y movilidad. Catalayud et al., (2022).

Desde la política pública, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos recomienda instrumentos pro-adopción para PYMES —bonos digitales, compras innovadoras, redes de “innovation hubs”— y destaca que la digitalización mejora el monitoreo de cadenas de suministro y la trazabilidad, fortaleciendo el cumplimiento con el cliente (OCDE, 2021, p. 41)

Un ejemplo de implementación de esta estrategia es un programa de inversión público-privada que cofinancie suscripciones a software de ruteo/telemetría para PYMES transportadoras, exigencias de trazabilidad en compras públicas e innovación que conectan cargadores, operadores y plataformas. Estas combinaciones alinean incentivos, bajan barreras de entrada y generan beneficios público-privados verificables en eficiencia, seguridad y cumplimiento.

Desarrollar laboratorios de innovación logística, la estrategia es aplicable a la colaboración con universidades, centros de investigación y empresas tecnológicas, orientados a realizar prototipos que den soluciones de automatización y mantenimiento predictivo aplicadas a la flota de transporte. Experiencias como el Mobility Innovation Hub de la Unión Europea demuestran que estos entornos aceleran la transferencia tecnológica (Mobility Innovation Hub, 2025).

Un ejemplo concreto de aplicación en Suramérica sería la creación de Laboratorios de Innovación Logística Regionales financiados mediante alianzas público-privadas, siguiendo la línea de los instrumentos pro-adopción recomendados por la OCDE.

En este esquema, los gobiernos locales y nacionales aportarían recursos iniciales y facilidades regulatorias (por ejemplo, exenciones fiscales para innovación), mientras que el sector privado —empresas de transporte, operadores logísticos, startups tecnológicas y fabricantes de equipos— invertiría en infraestructura, equipamiento y capital humano especializado. Las universidades y centros de investigación serían socios estratégicos para proveer talento, desarrollar metodologías y validar prototipos.

Los laboratorios tendrían como objetivo el desarrollo y prueba de soluciones de automatización y mantenimiento predictivo aplicadas a la flota de transporte terrestre. Esto incluiría sistemas IoT para monitoreo en tiempo real de componentes críticos, análisis de big data para predecir fallas mecánicas, y uso de inteligencia artificial para optimizar la programación de mantenimientos, reduciendo paradas no planificadas y aumentando la vida útil de los vehículos.

Por ejemplo, un laboratorio en el corredor logístico Bogotá–Buenaventura podría integrar sensores en camiones de carga para medir vibraciones, temperatura y consumo de combustible,

transmitiendo datos a una plataforma en la nube. Esto permitiría detectar patrones anómalos y programar mantenimientos antes de que ocurra una avería. Los resultados se compartirían con el ecosistema logístico regional, fomentando la adopción masiva.

Iniciativas similares ya se han implementado en Europa y Asia bajo el modelo de Innovation Hubs, adaptarlas a Suramérica permitiría acelerar la digitalización, mejorar la trazabilidad y elevar la competitividad logística regional.

Estandarizar marcos normativos regionales para la integración de tecnologías en la operación, incluyendo protocolos de datos, ciberseguridad y trazabilidad blockchain, siguiendo ejemplos como la Estrategia de Movilidad Sostenible e Inteligente de la Comisión Europea (2020).

La propuesta consiste en la creación de un organismo coordinador regional, se establecería un Consejo Regional de Innovación en Transporte y Logística encargado de definir estándares comunes para protocolos de intercambio de datos entre empresas, aduanas y autoridades de transporte, utilizando formatos unificados e indicadores estandarizados. Ciberseguridad, requisitos mínimos de encriptación, autenticación y almacenamiento seguro para proteger datos de rutas, carga y clientes. Trazabilidad blockchain, lineamientos para el registro descentralizado e inalterable de eventos logísticos (salida, llegada, inspecciones, mantenimiento).

Por ejemplo, un camión que transporta mercancía de Lima a Santiago utilizaría un sistema de trazabilidad blockchain regional que registra automáticamente el paso por cada punto de control, incluyendo revisiones aduaneras y cambios de temperatura para productos perecederos. Los datos, estandarizados y protegidos bajo normas regionales de ciberseguridad, serían accesibles en tiempo real para el cliente final, autoridades y socios logísticos, garantizando transparencia y reducción de tiempos administrativos.

Se espera lograr reducción de costos operativos por eliminación de sistemas incompatibles, mayor confianza de los clientes internacionales por la seguridad de la información, fortalecimiento de la integración económica regional y de la competitividad logística global.

Acciones para Mejorar la Eficiencia Operativa

La eficiencia operativa requiere reducir costos logísticos, optimizar la utilización de activos y garantizar la visibilidad de extremo a extremo en la cadena de suministro. Las recomendaciones incluyen tales como, integrar plataformas de gestión logística en la nube que centralicen datos de rutas, inventarios y entregas, permitiendo la coordinación en tiempo real entre transportadores, operadores y clientes. Casos como Beetrack en Chile han mostrado reducciones en errores logísticos (DispatchTrack, 2021).

La integración de plataformas de gestión logística en la nube representa una oportunidad clave para modernizar y hacer más eficiente la logística en América Latina. Estas soluciones centralizan en un solo sistema la información de rutas, inventarios y entregas, facilitando la coordinación en tiempo real entre transportadores, operadores y clientes. Al operar en la nube, permiten el acceso seguro desde cualquier ubicación, reducen la dependencia de infraestructuras locales costosas y mejoran la trazabilidad de cada envío. La sincronización inmediata de datos disminuye errores administrativos, optimiza la asignación de recursos y posibilita ajustes dinámicos ante imprevistos, como demoras o cambios en la demanda.

Por ejemplo, en un corredor comercial entre diferentes países todos los actores de la cadena usan una misma plataforma en la nube. Un transportador actualiza el estado de la carga, el operador visualiza la ubicación en tiempo real y el cliente recibe notificaciones automáticas, mejorando transparencia y tiempos de respuesta.

Fomentar la logística colaborativa y el uso de algoritmos de matching para reducir viajes vacíos: La logística colaborativa busca optimizar el uso de la capacidad de transporte mediante la cooperación entre empresas, incluso competidoras, para compartir cargas y rutas. En América Latina, donde gran parte de los vehículos de carga retornan vacíos tras completar un viaje, esta estrategia puede generar ahorros sustanciales en costos operativos, reducción de emisiones y mayor eficiencia en el uso de recursos. Un ejemplo práctico de su implementación es el desarrollo de una plataforma digital que, a través de algoritmos de matching, identifique coincidencias entre las rutas planificadas de transportadores y las necesidades de envío de diferentes empresas. El sistema evaluaría variables como ubicación, capacidad disponible, tipo de mercancía, tiempos de entrega y requisitos de manejo, para proponer combinaciones óptimas.

Supongamos que una empresa de alimentos en Bogotá envía productos a Quito y su camión retorna vacío. La plataforma detecta que una empresa de autopartes en Quito necesita enviar mercancía a Tunja y que la ruta coincide en gran manera. El algoritmo asigna el espacio disponible en el camión para ese retorno, garantizando compatibilidad de carga y cumplimiento normativo.

El sistema integraría módulos de trazabilidad basados en GPS, asegurando transparencia en la ubicación, condiciones de transporte y cumplimiento de los acuerdos, además, permitiría gestionar pagos automáticos entre las partes involucradas. Para fomentar la adopción, los gobiernos podrían ofrecer incentivos fiscales o acceso preferencial a créditos verdes para las empresas que reduzcan su huella de carbono mediante viajes colaborativos. El proyecto iniciaría con corredores piloto entre ciudades cercanas, para luego expandirse regionalmente.

Beneficios esperados: disminución de kilómetros recorridos sin carga, reducción de emisiones de CO₂, menores costos logísticos y mayor competitividad de la cadena de suministro regional.

Medidas para Reducir el Impacto Ambiental

La descarbonización del transporte terrestre requiere un cambio estructural en el tipo de energía utilizada, la eficiencia de los vehículos y la gestión de la infraestructura, estos cambios se pueden lograr principalmente a través de estrategias como por ejemplo, impulsar la electrificación de flotas de carga en entornos urbanos y de corta distancia, con incentivos fiscales y subsidios iniciales: Se realizaría principalmente en entornos urbanos y de corta distancia para reemplazar gradualmente los vehículos con motor de combustión interna por unidades eléctricas o híbridas, priorizando las operaciones de última milla y distribución urbana. Esta medida contribuye significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, disminuye la contaminación acústica y optimiza la eficiencia energética del transporte. Casos como el de DHL en Alemania, nos muestra resultados realmente sorprendentes con reducciones de un millón de toneladas métricas de emisiones contaminantes en 2022 (Sax & NHO, 2024).

Para lograrlo, es clave que los gobiernos implementen incentivos fiscales como exenciones de IVA, reducción de aranceles de importación y beneficios tributarios para las empresas que renueven su flota con ese tipo de vehículos. Además, subsidios iniciales pueden facilitar la adquisición de unidades y la instalación de infraestructura de carga, especialmente cargadores rápidos en zonas estratégicas. La política debería acompañarse de programas de capacitación para conductores y técnicos, así como de sistemas de gestión inteligente que optimicen rutas y el consumo de energía. El despliegue inicial debe concentrarse en ciudades con

alta densidad de entregas y buena infraestructura eléctrica, para luego expandirse a otras regiones. Empresas de comercio electrónico, supermercados y distribución de alimentos serían aliadas clave para la implementación del proyecto.

Promover políticas de transición energética que incluyan biocombustibles para acelerar la descarbonización del transporte terrestre de carga en América Latina y el Caribe, especialmente en el corto y mediano plazo. Estos combustibles representan alternativas más limpias frente al diésel, reduciendo significativamente las emisiones de CO₂, material particulado y óxidos de nitrógeno, al tiempo que permiten aprovechar infraestructuras y tecnologías ya disponibles.

Los biocombustibles avanzados, derivados de residuos agrícolas, forestales o aceites usados, no compiten directamente con la producción de alimentos y pueden integrarse progresivamente en las flotas existentes con modificaciones mínimas (Agencia Internacional de la Energía [IEA], 2025). El GNV, por su parte, ofrece una reducción de emisiones inmediata y costes operativos competitivos, siendo especialmente útil para rutas de media distancia con alto volumen de carga, teniendo en cuenta la aplicación de medidas efectivas en el control de fugas de metano para que sea realmente efectivo (Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería, 2014). Este enfoque escalonado permite mantener la competitividad logística, evitar interrupciones en las operaciones y reducir la huella de carbono de forma progresiva.

Un programa piloto podría combinar la adopción de camiones a GNV y mezclas de biodiésel avanzado (B20 o superior) en flotas de transporte interurbano, con incentivos fiscales y financiamiento preferencial para conversión de motores. Paralelamente, se desarrollarían corredores energéticos en ejes logísticos clave —como São Paulo–Río de Janeiro y Curitiba–Porto Alegre— con estaciones de GNV, surtidores de biocombustible y cargadores eléctricos rápidos. A largo plazo, se incluirían puntos de abastecimiento de hidrógeno verde, permitiendo

que la infraestructura energética evolucione hacia un transporte terrestre de carga ambientalmente sostenible.

Proyección de Impacto

Finalmente, es necesario que, cada una de las propuestas tenga una meta clara e indicadores precisos que permitan evaluar su funcionamiento y comprobar su efectividad. Los resultados y análisis de dichos indicadores permitirán realizar un seguimiento, control y toma de decisiones estratégicas a tiempo para el logro de los objetivos.

En la siguiente tabla se presentan los indicadores propuestos para cada una de las estrategias, acciones y/ recomendaciones planteadas durante el desarrollo del capítulo 4.

Tabla 4*Indicadores Propuestos para el Seguimiento, Control y Evaluación de las Acciones Sugeridas*

| Indicador | Descripción | Periodicidad | Interpretación | Óptimo | Aceptable | No aceptable |
|--|---|--------------|---|--------------|---------------|--------------|
| Tasa de reducción de emisiones GEI (%) | Mide el avance en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero en la flota de transporte terrestre. | Semestral | Evalúa la efectividad de medidas tecnológicas y de gestión ambiental. | $\geq 15\%$ | 5% - 14% | < 5% |
| Índice de disponibilidad de flota (%) | Porcentaje de vehículos operativos respecto al total de la flota. | Bimestral | Indica la capacidad real de prestación del servicio logístico. | $\geq 95\%$ | 85% - 94% | < 85% |
| Consumo específico de combustible (L/ton·km) | Cantidad de combustible (en litros) consumido por tonelada transportada por kilómetro. | Mensual | Evalúa eficiencia energética de las operaciones. | $\leq 0,025$ | 0,026 - 0,030 | > 0,030 |
| Porcentaje de uso de combustibles alternativos (%) | Proporción de combustible no fósil usado en el total de operaciones. | Semestral | Mide el grado de transición hacia energías limpias. | $\geq 20\%$ | 10% - 19% | |
| Índice de rotación de inventarios | Número de veces que se renueva el inventario en un período. | Mensual | Evalúa la gestión eficiente de inventarios. | ≥ 12 | 8 - 11 | |
| Tiempo promedio de carga y descarga (min) | Tiempo medio que tardan las operaciones de carga y descarga. | Mensual | Mide la productividad en los procesos de carga y descarga. | ≤ 30 | 31 - 45 | |

| Indicador | Descripción | Periodicidad | Interpretación | Óptimo | Aceptable | No aceptable |
|--|---|--------------|--|-------------|-----------|--------------|
| Nivel de satisfacción del cliente (%) | Nivel de satisfacción medido a través de encuestas de clientes. | Trimestral | Evalúa la percepción del cliente sobre el servicio. | $\geq 90\%$ | 75% - 89% | |
| Porcentaje de capacitación cumplida en el personal (%) | Proporción de horas de formación impartidas respecto al plan anual. | Semestral | Mide el cumplimiento del programa de formación del personal. | $\geq 95\%$ | 80% - 94% | |
| Tasa de averías mecánicas por vehículo/año | Número de fallas mecánicas que presenta un vehículo en un año. | Bimestral | Mide la confiabilidad mecánica de la flota. | ≤ 1 | 2 - 3 | |

Nota. La tabla muestra la propuesta de indicadores para evaluar la efectividad en la transformación tecnológica de los sistemas de transporte terrestre en logística. Elaboración propia con base en el contenido de las propuestas sugeridas.

Conclusiones

El análisis desarrollado a lo largo de esta monografía permite concluir que la transición hacia Sistemas de Transporte Terrestre Inteligentes (STTI) en la logística de América del Sur constituye un reto complejo, pero inaplazable, si se pretende garantizar competitividad, sostenibilidad y resiliencia en el contexto global actual. Se identificó que los principales obstáculos para su implementación radican en la infraestructura física deficiente, la falta de marcos regulatorios actualizados, la baja inversión tecnológica, la escasez de talento especializado y los altos costos de digitalización para las pequeñas y medianas empresas.

Se evidencia que existen amplias oportunidades para transformar el transporte terrestre mediante el uso estratégico de tecnologías emergentes, vehículos conectados, plataformas en la nube y logística colaborativa. Estas herramientas no solo permiten optimizar la eficiencia operativa y la trazabilidad de las operaciones, sino que también aportan soluciones efectivas para reducir emisiones, racionalizar recursos y cumplir compromisos internacionales en materia ambiental.

El éxito de esta transición dependerá de la voluntad de los gobiernos para establecer políticas públicas claras, marcos normativos armonizados, incentivos fiscales y programas de cofinanciación que garanticen el acceso equitativo a la tecnología. Asimismo, será fundamental fortalecer las capacidades humanas, promover la colaboración entre actores públicos y privados y fomentar la adopción progresiva de modelos logísticos sostenibles y digitalmente integrados. Solo así será posible consolidar una logística inteligente que responda a las exigencias del mercado global, contribuya a la descarbonización del transporte y promueva el desarrollo inclusivo en la región.

Recomendaciones

Diseñar políticas públicas regionales para la transformación digital del transporte terrestre, que incluyan incentivos fiscales, marcos normativos actualizados, estándares técnicos comunes y mecanismos de gobernanza digital que garanticen interoperabilidad, ciberseguridad y trazabilidad confiable.

Fomentar alianzas público-privadas orientadas a cofinanciar la adopción de tecnologías inteligentes en pequeñas y medianas empresas logísticas, especialmente en países con menor desarrollo relativo, priorizando el acceso a plataformas de monitoreo, automatización y gestión en la nube.

Desarrollar programas de formación técnica y profesional en logística 4.0, analítica de datos, automatización y mantenimiento inteligente, con el fin de cerrar la brecha de talento digital y fortalecer las capacidades humanas necesarias para operar sistemas de transporte inteligentes.

Impulsar la electrificación progresiva de flotas y la transición hacia energías limpias, mediante incentivos a la compra de vehículos eléctricos, biocombustibles y tecnologías híbridas, así como el desarrollo de infraestructura de carga en corredores estratégicos.

Promover la logística colaborativa y la optimización de rutas mediante el uso de plataformas digitales de matching, big data y analítica predictiva, con el fin de reducir viajes vacíos, minimizar el consumo energético y mejorar la eficiencia global de la cadena de suministro.

Establecer indicadores de seguimiento y evaluación para monitorear el impacto de las políticas y tecnologías implementadas, permitiendo ajustes oportunos, toma de decisiones informadas y rendición de cuentas en la modernización logística del transporte terrestre.

Referencias Bibliográficas

- Acevedo , E., Pethhigrew, S., Pineda, L., & Delgado, Ó. (2023). *Hoja de ruta para descarbonizar el transporte de carga en América Latina entre 2025 y 2050*. Washington, DC: ICCT.
- Agencia Internacional de la Energía - IEA. (2025). <https://www.iea.org/> Obtenido de <https://www.iea.org/> : <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/biofuels>
- Agencia Internacional de la Energía (IEA). (2025). <https://www.iea.org/> Obtenido de <https://www.iea.org/> <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/trends-in-heavy-duty-electric-vehicles>
- Alberti, J., & Pereyra, A. (2018). *Insitucionalidad y eficiencia en el transporte vial en América Latina y el Caribe*.
- América Retail. (13 de 01 de 2025). www.americaretail.com <https://americaretail.com/paises/colombia/transformacion-del-transporte-terrestre-en-sudamerica/>
- Arvis, J.-F., Ojala , L., Shepherd, B., Ulybina, D., & Wiederer, C. (2023). www.worldbank.org <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099042123145531599/pdf/P17146804a6a570ac0a4f80895e320dda1e.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Ciberseguridad: riesgos, avances y el camino a seguir en América Latina y el Caribe*.
- Belmonte Rodríguez, M. L., Pardo Calderón, R. E., & Mogollón Loaiza, L. F. (2021). *Aplicación Industria 4.0 en Logística De Rappi “Zona T”*, De Bogotá D.C., Colombia. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo vol 21 (1)*, 32-38.
- CargoX. (2005). <https://cargox.com.br/> Obtenido de <https://cargox.com.br/> <https://cargox.com.br/>

- Catalayud, A. (08 de 12 de 2023). <https://blogs.iadb.org/>
<https://blogs.iadb.org/transporte/es/transporte-y-cambio-climatico-en-america-latina-y-el-caribe-desafios-y-oportunidades/>
- Catalayud, A., Camacho, J., Rivas Amiassorho, M. E., & Beltrán, C. (18 de 03 de 2024).
<https://blogs.iadb.org/> <https://blogs.iadb.org/transporte/es/cuantos-grados-debe-dejar-de-emitir-el-transporte-en-la-region-para-cumplir-con-el-acuerdo-de-paris/>
- Catalayud, A., Katz, R., & Riobó, A. (2022). *Impulsando la Transformación Digital del Transporte en América Latina y el Caribe* .
- CEPAL. (2020). *Transformación digital en la logística de América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- CEPAL. (2024). *Infraestructura eficiente y de calidad en América Latina y el Caribe: ¿cómo mejorar el desempeño de las inversiones?* CEPAL.
- Diario Sustentable. (20 de 04 de 2022). <https://www.diariosustentable.com/>
<https://www.diariosustentable.com/2022/04/mercado-libre-y-en-el-se-unen-para-instalar-30-puntos-de-carga-electrica-en-centro-de-ultima-milla-en-renca/>
- DispatchTrack. (02 de 12 de 2021). <https://www.beetrack.com/>
<https://www.beetrack.com/es/prensa/se-fortalece-la-industria-log%C3%ADstica-de-%C3%BAltima-milla-en-latam-dispatchtrack-adquiere-a-beetrack>
- Dong, C., Andersson, D., Akram, A., & Arnas, P. (2021). *The impact of emerging and disruptive technologies on freight transportation in the digital era: current state and future trends*.
The International Journal of Logistics Management , 46.
- European Commission. (9 de 12 de 2020). <https://eur-lex.europa.eu> Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu>

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099042123145531599/pdf/P17146804a6a570ac0a4f80895e320dda1e.pdf>

Forbes. (12 de 05 de 2023). <https://www.forbes.com.ec/> Obtenido de [https://www.forbes.com.ec/innovacion/asi-como-mercedes-benz-utiliza-realidad-extendida-impulsar-sus-operaciones-globales-n33737](https://www.forbes.com.ec/https://www.forbes.com.ec/innovacion/asi-como-mercedes-benz-utiliza-realidad-extendida-impulsar-sus-operaciones-globales-n33737)

Garzón, K. (05 de 02 de 2020). www.playmarketing.net Obtenido de www.playmarketing.net: <https://playmarketing.net/rappi-crece-con-una-estrategia-de-datos-basada-en-la-tecnologia-israeli-de-appsflyer/>

Granada C., I., Rodríguez Porcel, M., Mix V., R., & Bezanilla C., A. (2018). *Sistemas Inteligentes de Transporte para la Movilidad Universal*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Greebberg, A. (02 de 08 de 2016). www.wired.com Obtenido de www.wired.com <https://www.wired.com/2016/08/researchers-hack-big-rig-truck-hijack-accelerator-brakes>

Greer , L., Fraser, J., Hicks, D., Mercer, M., & Thompson, K. (2018). *Intelligent Transportation Systems: Benefits, Costs, and Lessons Learned*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.

Heufemann, N. (17 de 03 de 2025). <https://mercadomayorista.lun.com/> Obtenido de <https://mercadomayorista.lun.com/>: <https://mercadomayorista.lun.com/edicion-especial-vehiculos-comerciales/2025/03/17/sotraser-avanza-en-electromovilidad-con.html>

Hirs-Garzón, J., & Vargas, F. (09 de 2023). Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Prioridades-para-la-digitalizacion-empresarial-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>

- Javanpour, S., Radman, A., Saeedi, S., Karimabadi, S. F., Larson, D. A., & Jones, E. C. (29 de 01 de 2025). <https://arxiv.org/> Obtenido de <https://arxiv.org/>
<https://arxiv.org/pdf/2502.00056>
- Liftit. (2025). <https://liftit.co/> Obtenido de <https://liftit.co/> <https://liftit.co/>
- López C., K. (28 de 10 de 2019). <https://www.camae.org/> Obtenido de <https://www.camae.org/>
<https://www.camae.org/cadena-de-suministro/mas-de-50-puertos-de-latinoamerica-contribuyen-a-la-digitalizacion-del-comercio-exterior/>
- Mercado Libre. (01 de 04 de 2024). <https://news.mercadolibre.com/> Obtenido de
<https://news.mercadolibre.com/> <https://news.mercadolibre.com/mercado-libre-sustentabilidad>
- Mobility Innovation Hub. (2025). <https://technologickainkubace.org> Obtenido de
<https://technologickainkubace.org> <https://technologickainkubace.org/en/huby/mobility-innovation-hub/>
- Moradi, P., Arts, J., & Velásquez Martínez, J. C. (30 de 25 de 2025). <https://arxiv.org> Obtenido de
de <https://arxiv.org> <https://arxiv.org/pdf/2306.01687>
- Organización de las Naciones Unidas. (25 de 09 de 2015). *Obejtivos de Desarrollo Sostenible*.
Obtenido de www.ung.org <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización Global de Operadores de Telefonía Móvil. (2023). *The State of Mobile Internet Connectivity 2023*. GSMA.
- Organización Latinoamericana de Energía - OLADE. (2020). *Barómetro de la energía de América Latina y el Caribe 2018: las perspectivas del desarrollo del sector energético en la región*. Quito - Ecuador: OLADE.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OCDE. (2021). *The Digital Transformation of SMEs*. París: OCDE.
- Redacción Logística 360. (8 de Enero de 2025). www.logistica360.pe Obtenido de <https://logistica360.pe/desafios-en-la-industria-logistica-en-america-latina-2025/>
- Rodrigues, H., Cieplinski, A., Logiodice, P., Haytzmann, G., & Rebouças, A. B. (20 de 05 de 2025). <https://theicct.org/> Obtenido de <https://theicct.org/publication/latin-america-ebus-market-monitor-2024-may25/>
- Sánchez, R., Lardé, J., Chauvet, P., & Jaimurzina, A. (2017). *Inversiones en infraestructura en América Latina - Tendencias, brechas y oportunidades*. CEPAL.
- Sax, S., & NHO, L. (29 de 02 de 2024). <https://time.com/> Obtenido de <https://time.com/6836113/electric-bikes-decarbonize-last-mile-delivery/>
- The Logistics World. (27 de 11 de 2024). <https://thelogisticsworld.com/> Obtenido de <https://thelogisticsworld.com/actualidad-logistica/logistica-colaborativa-optimizacion-de-recursos-y-reduccion-de-costo/>
- Transporte.MX. (02 de 06 de 2016). <https://transporte.mx/> Obtenido de <https://transporte.mx/scania-ya-opera-conduccion-autonoma-en-minas-y-puertos/>
- Unigis Smart Logistics. (15 de Febrero de 2025). www.unigis.com Obtenido de <https://www.unigis.com/incertidumbre-en-la-industria-del-transporte-terrestre-en-latam>
- Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería. (2014). *Estudio de tecnologías disponibles para incentivar el uso del gas combustible en el sector transporte*. Bogotá DC.

- Volvo Trucks. (2025). www.volvobuses.com Obtenido de www.volvobuses.com
<https://www.volvobuses.com/co/services/volvo-connect.html>
- Walmart Chile. (20 de 12 de 2024). <https://www.walmartchile.cl/> Obtenido de
<https://www.walmartchile.cl/> <https://www.walmartchile.cl/tenemos-la-flota-de-camiones-electricos-mas-grande-de-sudamerica/>
- Wang, F., Wang, X., & Ban, X. (2024). *Data Poisoning Attacks in Intelligent Transportation Systems: A Survey*.
- Wong, W. P., Fahad Anwar, M., & Lin Soh, K. (2024). Transportation 4.0 in supply chain management: State-of-the-art and future directions towards 5.0 in the transportation sector. *Operations Management Research*, 28.
- World Bank Group. (2023). *Foresight and Scenario Planning for Smart Mobility in Latin America and the Caribbean*. Washington, DC: World Bank Group.