

**Potenciando la competitividad logística de Panamá: una ingeniería inversa del
transporte terrestre frente a Singapur y Rotterdam**

**Enhancing Panama's logistics competitiveness: a reverse-engineering of land
transportation compared with Singapore and Rotterdam**

Juan Astorio Castillo-Salamín¹

¹Universidad de Panamá, Facultad de Administración de Empresas y Contabilidad, Panamá; juan.castillo-s@up.ac.pa; <https://orcid.org/0000-0002-9254-1028>

Fecha de recepción: 28-07-2025

Fecha de aceptación: 26-09-2025:

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.vian.v9n2.a8876>

Resumen: Para fortalecer la competitividad de Panamá como hub logístico global, este estudio emprende una ingeniería inversa del sistema de transporte terrestre panameño, con el objetivo de identificar oportunidades de optimización y fortalecer su integración logística global, contrastándolo con los hubs de Singapur y Rotterdam. La investigación busca desentrañar las ineficiencias intrínsecas y las mejores prácticas aplicables para potenciar la competitividad de Panamá como centro logístico estratégico. Se adoptó un enfoque cualitativo basado en un estudio de caso documental, aplicando un protocolo riguroso de ingeniería inversa que incluyó la descomposición sistemática del sistema, el análisis crítico de sus ineficiencias, un benchmarking cualitativo con los referentes internacionales y la proposición de soluciones contextualizadas. Los hallazgos revelan disparidades significativas: Panamá presenta costos de transporte terrestre elevados y una infraestructura vial deteriorada, exacerbada por la congestión. Las barreras regulatorias y tecnológicas, manifestadas en procesos burocráticos complejos y escasa digitalización, merman la eficiencia y la adopción tecnológica. En contraste, Singapur y Rotterdam exhiben infraestructura vial superior, marcos regulatorios ágiles y alta adopción tecnológica, resultando en un desempeño logístico favorable. La conclusión principal es que las deficiencias panameñas son sistémicas, originadas por la desarticulación entre infraestructura vial, adopción tecnológica, marco regulatorio y coordinación intermodal, impidiendo la sinergia de sus ventajas geográficas. La transformación requerida es integral y transformacional, no incremental; la tecnología debe ser habilitada por un marco regulatorio propicio y la resolución previa de ineficiencias operativas para catalizar la competitividad logística global.

Palabras clave: integración intermodal, costos logísticos, adopción tecnológica, regulación logística.

Abstract: To strengthen Panama's competitiveness as a global logistics hub, this study conducts a reverse-engineering analysis of the country's land transportation system to identify optimization opportunities and enhance its integration into global logistics networks by contrasting it with the hubs of Singapore and Rotterdam. The research aims to uncover intrinsic inefficiencies and transferable best practices to bolster Panama's position as a strategic logistics center. A qualitative documentary case-study approach was adopted, applying a rigorous reverse-engineering protocol that included systematic decomposition of the system, critical analysis of inefficiencies, qualitative benchmarking against international references, and the design of context-specific solutions. The findings reveal marked disparities: Panama faces high land-transport costs and deteriorated road infrastructure, compounded by congestion. Regulatory and technological barriers expressed through complex bureaucratic processes and limited digitalization undermine operational efficiency and technology adoption. Compared to other places, Singapore and Rotterdam have better road infrastructure, adaptable regulatory frameworks, and widespread use of technology, resulting in better logistical

performance. The study concludes that Panama's shortcomings are systemic, arising from a lack of coordination among road infrastructure, technological adoption, regulatory frameworks, and intermodal integration, which prevents the country from fully leveraging its geographic advantages. The necessary transformation must be comprehensive rather than incremental: technological advances should be supported by enabling regulations and preceded by the resolution of operational inefficiencies to catalyze Panama's global logistical competitiveness.

Keywords: intermodal integration, logistics costs, technology adoption, logistics regulation.

1. Introducción

Panamá, un centro logístico globalmente reconocido, enfrenta desafíos críticos en su transporte terrestre que merman su competitividad. La problemática se evidencia en costos por tonelada-kilómetro de 17 centavos, muy superiores a los 10 centavos de regiones desarrolladas (Grupo Banco Mundial, 2014), y se agrava por la congestión en ejes viales como la Vía Transístmica. Como señala González (2025), esta es una de nuestras debilidades. Aunque el Canal de Panamá y la Zona Libre de Colón (ZLC) son motores comerciales clave, el país está rezagado frente a referentes como Singapur y Rotterdam en desempeño logístico (LPI 2023), principalmente por una infraestructura vial deficiente, con solo el 20.9% de la red interurbana en condiciones adecuadas (CAF, 2020). Frente a este desafío, la ingeniería inversa se presenta como la metodología idónea para desmantelar estas ineficiencias y, mediante un análisis comparativo con líderes como Singapur y Rotterdam, proponer una ruta de optimización.

La logística, definida como la gestión eficiente del flujo de bienes, servicios e información, es esencial para la competitividad de un hub global (Chopra & Meindl, 2016). En este contexto, la ingeniería inversa, un método tradicionalmente usado en ingeniería de productos, se presenta como un marco analítico idóneo para descomponer sistemáticamente un sistema complejo, como el logístico, en sus componentes fundamentales (Otto & Wood, 2001). Este proceso permite analizar sus interacciones, identificar ineficiencias y proponer mejoras basadas en datos, trascendiendo el benchmarking tradicional (Raja & Balamurugan, 2012). Esta metodología permite un análisis estructural de sistemas complejos, trascendiendo el benchmarking tradicional al examinar procesos internos. La literatura contemporánea sobre tecnologías inteligentes aplicadas a la logística subraya la importancia de la inteligencia artificial, vehículos autónomos y tecnologías IoT para optimizar la planificación de rutas y la eficiencia operativa

(Abdulrahman et al., 2024), así como la necesidad de coordinación mejorada entre actores y desarrollo de habilidades analíticas avanzadas (SCM Dojo, 2025; Techneeds, 2024).

Optimizar el transporte terrestre es crucial para fortalecer la competitividad de Panamá como hub logístico global, ya que la conectividad y eficiencia de la infraestructura terrestre son determinantes clave del rendimiento general de los puertos y las cadenas de suministro que estos anclan (Nottiboom et al., 2021). La comparación sistemática con Singapur y Rotterdam mediante ingeniería inversa permite identificar mejores prácticas adaptables para reducir costos y mejorar la integración multimodal. La convergencia de la oportunidad geopolítica derivada de la adquisición portuaria por BlackRock y el Plan Estratégico Gubernamental 2025-2029, que destina 8,500 millones de dólares a proyectos logísticos, proporciona un marco financiero e institucional sin precedentes para implementar las mejoras necesarias (Hernández, 2024). Este estudio contribuirá al conocimiento académico y apoyará los esfuerzos nacionales para consolidar a Panamá como referente en el comercio global, maximizando los beneficios de su estratégica infraestructura logística.

2. Materiales y métodos

La presente investigación adopta un enfoque de ingeniería inversa como marco analítico para examinar el sistema de transporte terrestre en Panamá. El objetivo es identificar oportunidades de optimización que fortalezcan su integración logística con el Canal de Panamá, los puertos de Balboa y Colón, y la Zona Libre de Colón (ZLC). El estudio se contextualiza en el escenario geopolítico de 2025, considerando la adquisición de infraestructuras portuarias clave por un consorcio liderado por BlackRock, junto con Global Infrastructure Partners y Terminal Investment Limited, lo cual genera nuevas oportunidades para el financiamiento de mejoras logísticas (Reuters, 2025).

La metodología se estructura siguiendo principios de rigor científico, garantizando credibilidad, transferibilidad, dependabilidad y confirmabilidad. El diseño metodológico se inspira en las prácticas logísticas avanzadas de Singapur y Rotterdam para establecer un marco comparativo sólido. A continuación, se detallan los procedimientos organizados en subsecciones.

La investigación utiliza un enfoque cualitativo de estudio de caso documental, ideal para explorar las ineficiencias del transporte terrestre panameño en su contexto real (Yin, 2014). Se selecciona un caso único: el sistema de transporte terrestre de Panamá, en interacción con el Canal, los puertos y la ZLC. El alcance del estudio es descriptivo-explicativo, buscando comprender las operaciones terrestres y proponer soluciones mediante la ingeniería inversa.

El proceso metodológico se organizó en cuatro fases secuenciales: formulación de objetivos, construcción del corpus documental, análisis sistemático del sistema y síntesis de propuestas de mejora. Este diseño asegura un análisis contextualizado y riguroso.

Para los propósitos de este estudio, la ingeniería inversa se define como el proceso sistemático de descomponer el sistema logístico terrestre en sus componentes fundamentales (infraestructura, flotas, regulaciones, tecnología) para analizar sus interacciones, identificar ineficiencias y proponer mejoras basadas en modelos exitosos de hubs logísticos como Singapur y Rotterdam.

La aplicación de la ingeniería inversa se estructura en un protocolo de cuatro etapas:

Descomposición Sistemática: Consiste en la identificación y mapeo de los componentes del sistema logístico terrestre mediante el análisis de documentos oficiales y técnicos. La información se organiza en categorías temáticas: infraestructura vial, gestión de flotas, marco regulatorio y adopción tecnológica.

Análisis de Ineficiencias: Implica una evaluación crítica de cada componente utilizando datos cuantitativos extraídos de fuentes documentales oficiales. Se identifican las brechas de desempeño mediante indicadores clave.

Benchmarking Cualitativo: Se realiza una comparación sistemática con las prácticas logísticas de Singapur y Rotterdam, extrayendo las mejores prácticas adaptables al contexto panameño a través del análisis de informes técnicos internacionales.

Diseño de Soluciones: Se formulan propuestas de mejora contextualizadas, incluyendo la optimización de infraestructuras y rutas, la digitalización de procesos y la coordinación intermodal, basándose en la evidencia documental analizada.

El corpus de análisis se construyó mediante la recopilación sistemática de fuentes documentales públicas. Estas fuentes se organizaron en una base de datos con metadatos

completos (autor, año, tipo de documento, enlace de acceso) y codificación alfanumérica (año-emisor-tema) para facilitar su trazabilidad y análisis.

Las fuentes documentales se limitaron exclusivamente a materiales de acceso público, categorizadas que incluyeron cuatro tipos principales: documentos oficiales de instituciones panameñas, informes técnicos de organismos multilaterales, literatura académica revisada por pares sobre logística, y publicaciones de medios especializados.

El proceso de selección inicial identificó 64 fuentes potenciales. Estas fueron sometidas a un proceso de cribado que resultó en un corpus final de 35 fuentes, las cuales sustentaron el análisis, garantizando la saturación teórica y la calidad de la información.

Se realizó un muestreo intencional de 35 fuentes publicadas entre 2014 y 2025, aplicando criterios de pertinencia temática y credibilidad, eliminando información redundante hasta alcanzar la saturación teórica.

El análisis se fundamenta en una estrategia de análisis temático-operativo, cuyo procedimiento se detalla a continuación:

Codificación Inicial: Lectura sistemática del corpus documental e identificación de unidades de análisis relacionadas con los componentes del sistema logístico terrestre y sus interacciones.

Categorización Temática: Agrupación de códigos en categorías analíticas correspondientes a los componentes identificados (infraestructura, flotas, regulaciones, tecnología) y sus interacciones.

Análisis Comparativo: Construcción de cuadros comparativos que sistematizan las prácticas de Panamá, Singapur y Rotterdam en cada categoría temática, utilizando indicadores cuantitativos extraídos de las fuentes documentales.

Síntesis Propositiva: Esta etapa final consolida todos los hallazgos del estudio para desarrollar recomendaciones específicas y viables de mejora del sistema de transporte. Se fundamenta en la evidencia recopilada y procesada en las etapas anteriores para generar propuestas concretas adaptadas al contexto local.

El análisis propositivo se estructura en cuatro dimensiones clave que permiten una evaluación integral del sistema: Comparación de Infraestructura Vial y Costos Operativos,

Adopción Tecnológica y Digitalización, Marco Regulatorio y Eficiencia Operativa, e Indicadores de Desempeño Operativo.

La calidad y confiabilidad de este estudio se respaldan mediante la aplicación de los criterios de rigor cualitativo propuestos por Lincoln y Guba (1985), adaptados al enfoque de esta investigación documental. A continuación, se describen dichos criterios:

Credibilidad: Asegurada mediante la triangulación de fuentes documentales diversas (oficiales, académicas, técnicas, periodísticas), que permiten validar hallazgos desde múltiples perspectivas.

Transferibilidad: Garantizada por la descripción detallada del contexto panameño y los procedimientos metodológicos, facilitando la aplicación de hallazgos a contextos similares.

Dependabilidad: Establecida mediante la documentación exhaustiva del proceso de análisis y la codificación sistemática de fuentes, permitiendo la replicabilidad del estudio.

Confirmabilidad: Lograda a través de la transparencia en el tratamiento de datos y la explicitación de decisiones metodológicas, minimizando sesgos interpretativos.

La investigación utiliza exclusivamente material de acceso público, cumpliendo con las normativas de uso de información institucional. Todas las fuentes documentales están debidamente referenciadas siguiendo estándares académicos internacionales. No se requiere consentimiento informado al tratarse de un estudio documental que no involucra participantes humanos directos.

El manejo de la información se realiza respetando los derechos de autor y las licencias de uso establecidas por las instituciones emisoras. Las interpretaciones y análisis realizados mantienen objetividad académica, evitando sesgos que puedan comprometer la integridad de los hallazgos.

El estudio presenta limitaciones inherentes a su diseño: su análisis temporal se cierra en abril de 2025, la dependencia de fuentes públicas puede limitar el acceso a datos operativos específicos tras la adquisición de BlackRock, y las diferencias estructurales con Singapur y Rotterdam requieren adaptaciones contextuales de las soluciones propuestas.

Estas limitaciones se mitigan mediante la triangulación sistemática de fuentes, la transparencia en el proceso analítico y el reconocimiento explícito de las diferencias

contextuales en la formulación de propuestas. Investigaciones futuras podrían complementar estos hallazgos mediante estudios de campo que incorporen la perspectiva directa de operadores logísticos y autoridades sectoriales.

Los resultados derivados de este análisis, que se presentan en la siguiente sección, identifican ineficiencias específicas del sistema logístico terrestre panameño y establecen comparaciones sistemáticas con las mejores prácticas internacionales.

3. Resultados

El análisis efectuado al sistema de transporte terrestre en Panamá ha arrojado hallazgos organizados en cuatro categorías principales: (1) ineficiencias operativas, (2) barreras regulatorias y tecnológicas, (3) prácticas comparativas derivadas del benchmarking con Singapur y Rotterdam, y (4) indicadores de desempeño operativo. Estos resultados se obtuvieron a través del diseño de estudio de caso documental, tal como se detalló en la metodología.

El sistema de transporte terrestre en Panamá evidencia desafíos significativos, especialmente en la infraestructura vial nacional y la conectividad interna. Estos factores impactan negativamente al dificultar la salida de productos al mercado y repercutir en el precio final. La carretera Transístmica, eje crucial que conecta Panamá y Colón, presenta condiciones deterioradas que generan congestiones vehiculares recurrentes, las cuales no se ven mitigadas por la implementación de nuevos pasos vehiculares (CAF, 2020; Durán, 2025).

Un informe de la Corporación Andina de Fomento (CAF) subraya que sólo el 20.9% de la red interurbana panameña se encuentra en buenas condiciones. Si bien la red pavimentada alcanza el 46%, se observan tramos con congestiones considerables, particularmente en el eje Panamá-Colón, donde se incluye la Transístmica. La red vial se estructura en dos ejes principales: la Panamericana y la Transístmica. La última es fundamental para la interconexión entre ambas ciudades, pero adolece de problemas de mantenimiento y capacidad (CAF, 2020).

Ante estas limitaciones, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) ha iniciado licitaciones y reactivados proyectos de ampliación y mejora de la infraestructura vial,

incluyendo la Transístmica y la Panamericana. Estas inversiones, que superan los 590 millones de dólares, buscan fortalecer la red de transporte y dinamizar la economía nacional. Se prevé licitar nuevas obras por más de 136 millones de dólares adicionales en 2025, enfocándose en mejorar la conectividad y reducir los tiempos de tránsito (Construir, 2025; El Capital Financiero, 2025).

El sistema de transporte terrestre de carga en Panamá se ve obstaculizado por barreras regulatorias y tecnológicas que merman su eficiencia operativa y competitividad como *hub* logístico regional. A pesar de las ventajas geográficas del país para la integración multimodal, las deficiencias en el marco regulatorio y la limitada adopción tecnológica representan obstáculos críticos para su desarrollo.

Las barreras regulatorias se manifiestan en procesos burocráticos complejos y normativas fragmentadas, factores que la literatura identifica como obstáculos críticos para el desempeño logístico (Munim & Schramm, 2018). La ausencia de un marco regulatorio integrado que facilite la interoperabilidad entre modos de transporte es una deficiencia común en economías emergentes que buscan consolidarse como hubs (UNCTAD, 2021). Expertos señalan que la falta de agilidad regulatoria impide la modernización del sistema terrestre y la sincronización con otros modos de transporte (Durán, 2025).

Asimismo, las limitaciones tecnológicas se evidencian en la baja digitalización del sector, la ausencia de sistemas logísticos integrados y la fragmentación operativa, lo que reduce la visibilidad en tiempo real de la carga. Esta brecha tecnológica dificulta la implementación de soluciones avanzadas de rastreo, optimización de rutas y gestión predictiva, limitando la eficiencia operativa y las posibilidades de expansión hacia mercados centroamericanos (Informeaereo, 2025).

La evaluación comparativa de los marcos regulatorios y la adopción tecnológica entre Panamá, Singapur y Rotterdam permite identificar las brechas y las mejores prácticas aplicables. Singapur se distingue por un entorno regulatorio que fomenta la innovación y la eficiencia, apoyado por una política de apertura comercial y digitalización progresiva. Su Mapa de Transformación de la Industria Logística (ITM) impulsa la modernización sectorial mediante inversiones en automatización, análisis de datos y desarrollo de talento especializado (Mordor Intelligence, 2024a). Además, la implementación de redes 5G y

sistemas digitales mejora la conectividad y el monitoreo en tiempo real de las cadenas de suministro (Mordor Intelligence, 2024b).

Rotterdam es un caso emblemático de integración tecnológica en la gestión portuaria y logística, con énfasis en la interoperabilidad y la sostenibilidad. El puerto ha desarrollado plataformas digitales basadas en IoT para monitorear infraestructuras y flujos de carga, facilitando la coordinación logística (Camae, 2019). El proyecto "Rail Connected" optimiza el transporte ferroviario mediante sensores IoT y análisis predictivo, integrando sistemas digitales para una gestión holística de la cadena (Port of Rotterdam, 2024). En cuanto a sostenibilidad, Rotterdam ha adoptado una estrategia de adaptación climática alineada con las directivas de la Unión Europea.

Tabla 1
Comparación de Infraestructura Vial y Costos Operativos

Indicador	Panamá	Singapur	Rotterdam (Países Bajos)
Costo transporte terrestre (USD/ton-km)	0.17	0.10	0.10
Red vial en buenas condiciones (%)	20.9%	>85%	>90%
Infraestructura LPI 2023 (puntaje)	3.3	4.6	4.2
Congestión vial (nivel crítico)	Transístmica, Panamericana	Mínima (gestión inteligente)	Controlada (sistemas integrados)
Inversión en infraestructura 2025 (millones USD)	590	2,000+ (ITM)	1,500+ (proyectos digitales)

La comparación de infraestructura vial y costos operativos revela disparidades significativas. Panamá presenta un costo de transporte terrestre de 0.17 USD/ton-km, considerablemente superior al de Singapur y Rotterdam (0.10 USD/ton-km). Esta diferencia se explica, en parte, por el estado de la red vial panameña, donde solamente el 20.9% se encuentra en buenas condiciones, frente a más del 85-90% en los hubs de referencia. La congestión en ejes críticos como la Transístmica y la Panamericana contrasta con la gestión inteligente de tráfico de Singapur y los sistemas integrados de Rotterdam. La inversión proyectada en infraestructura para 2025, si bien importante en Panamá (590 millones de

USD), resulta modesta en comparación con las destinadas por Singapur (2,000+ millones de USD) y Rotterdam (1,500+ millones de USD).

Tabla 2
Adopción Tecnológica y Digitalización

Componente Tecnológico	Panamá	Singapur	Rotterdam (Países Bajos)
Sistemas IoT integrados	Limitado	Avanzado (centros de distribución)	Avanzado (monitoreo tiempo real)
Plataformas blockchain	Ausente	En desarrollo	Implementado (trazabilidad)
Inteligencia Artificial	Mínima	UPS Innovation Centre	Ánalysis predictivo
Gestión digital de rutas	Fragmentada	Optimización en tiempo real	Rail Connected (ferrocarril)
Conectividad 5G	Parcial	Implementación completa	Zonas estratégicas
Ventanilla única digital	En desarrollo	Operativa	Totalmente integrada

La brecha tecnológica entre Panamá y los *hubs* logísticos líderes se manifiesta en la implementación de sistemas digitales integrados. Panamá presenta sistemas IoT limitados, ausencia de plataformas blockchain operativas y una implementación parcial de conectividad 5G. En contraste, Singapur cuenta con un ecosistema tecnológico robusto, incluyendo inteligencia artificial y robótica en centros de distribución y una red 5G completamente implementada. Rotterdam ha desarrollado el proyecto "Rail Connected" con sensores IoT y análisis predictivo, además de implementar blockchain para trazabilidad de contenedores. La ventanilla única digital panameña aún está en desarrollo, mientras que Singapur opera sistemas completamente digitalizados y Rotterdam mantiene plataformas totalmente integradas.

Tabla 3*Marco Regulatorio y Eficiencia Operativa*

Aspecto Regulatorio	Panamá	Singapur	Rotterdam (Países Bajos)
Facilidad para envíos (LPI 2023)	3.1	4.0	3.7
Procesos burocráticos	Complejos, fragmentados	Simplificados, digitales	Integrados, automatizados
Coordinación intermodal	Limitada	Altamente coordinada	Excelente integración
Tiempo promedio de despacho	7.3 días	3 días	5.6 días
Marco regulatorio integrado	En desarrollo	Mapa ITM implementado	Directivas UE aplicadas
Adaptación climática	Ausente	Política sostenibilidad	Estrategia adaptación

El análisis comparativo del Índice de Desempeño Logístico (LPI, 2023) en la categoría "Facilidad para envíos internacionales a precios competitivos" revela brechas significativas. Singapur lidera con 4.0 puntos (LPI general 4.3), reflejando su marco regulatorio simplificado y avanzada adopción tecnológica, lo que se traduce en tiempos operativos excepcionales (tres días de permanencia en puerto). Los Países Bajos (Rotterdam) obtuvieron 3.7 puntos (LPI general 4.1), con tiempos de permanencia de contenedores de 7.2 días para importación y 5.6 días para exportación, evidenciando el impacto de disrupciones globales. Panamá registra 3.1 puntos (LPI general 3.1), con tiempos de permanencia de 5.0 días para importación y 7.3 días para exportación, lo que señala limitaciones en eficiencia operativa comparada con los referentes internacionales.

Tabla 4*Indicadores de Desempeño Operativo*

Métrica Operativa	Panamá	Singapur	Rotterdam (Países Bajos)
Ranking LPI 2023	57	1	3
Puntaje LPI general	3.1	4.3	4.1
Eficiencia energética	Baja	Alta (optimización IA)	Alta (sostenibilidad)
Reducción de emisiones CO ₂	Sin metas específicas	Política activa	Estrategia climática UE
Integración cadena de suministro	Fragmentada	Altamente integrada	Completamente integrada
Visibilidad en tiempo real	Limitada	Avanzada	Excelente

La efectividad de la coordinación intermodal refleja la madurez regulatoria y la integración de sistemas operativos. Singapur, con un marco regulatorio coordinado y el ITM, facilita la interoperabilidad y reduce los tiempos de despacho a menos de 24 horas. Rotterdam, bajo directivas de la UE, logra una excelente coordinación intermodal con tiempos de despacho inferiores a 36 horas, gracias a procesos automatizados. Panamá, en contraste, enfrenta desafíos por procesos burocráticos complejos y fragmentados, resultando en tiempos de despacho superiores a 48 horas. La ausencia de un marco regulatorio integrado limita la coordinación intermodal efectiva, evidenciando la necesidad de reformas estructurales para simplificar procesos y mejorar la sincronización entre modos de transporte, especialmente considerando la oportunidad de la reciente adquisición portuaria.

El análisis de la integración de la cadena de suministro y visibilidad operativa revela diferencias fundamentales. Singapur ha logrado una integración avanzada con IoT, análisis de datos y IA para visibilidad completa de flujos, permitiendo ajustes dinámicos y optimización de recursos (Mordor Intelligence, 2024a). Rotterdam integró IoT para monitorear infraestructuras y flujos, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad. Panamá presenta una integración fragmentada, con visibilidad limitada en tiempo real, que

restringe la capacidad de respuesta y la optimización de recursos, reflejando la ausencia de metas de reducción de emisiones y sistemas integrados.

4. Discusión

Los hallazgos de esta investigación revelan convergencias y divergencias significativas con la literatura existente sobre optimización logística y competitividad portuaria. Este análisis comparativo, fundamentado en la metodología de ingeniería inversa, genera un debate académico que enriquece la comprensión de los desafíos que enfrentan los hubs logísticos emergentes, como Panamá, en contraste con referentes consolidados como Singapur y Rotterdam.

Los resultados obtenidos, enfocados en la aplicación de la ingeniería inversa, coinciden sustancialmente con las observaciones de Chopra y Meindl (2016), quienes enfatizan que la gestión eficiente del flujo de bienes exige la integración sistemática de todos los componentes de la cadena de suministro. Esta perspectiva se alinea con los hallazgos del BID (2007, como se citó en CAF, 2020), que confirman la precaria condición del 79.1% de la red interurbana panameña, validando así la identificación de ineficiencias operativas críticas en la infraestructura vial nacional.

Sin embargo, emerge una discrepancia conceptual importante con el enfoque tradicional de benchmarking, como el propuesto por Asana (2024). Mientras este último se centra en la comparación de métricas de desempeño, la metodología de ingeniería inversa trasciende esta limitación al descomponer sistemáticamente el sistema logístico terrestre en sus componentes fundamentales. Este desglose proporciona una comprensión más profunda de las interacciones causales que generan las ineficiencias identificadas, algo que el benchmarking superficial no aborda.

El análisis de las barreras regulatorias y tecnológicas suscita un debate más complejo. Si bien Abdulrahman et al. (2024) proponen que la integración de inteligencia artificial, vehículos autónomos y tecnologías IoT constituyen la solución primaria para optimizar la planificación logística, los hallazgos sugieren que estas tecnologías requieren un sustento regulatorio integral previo para su implementación efectiva. Esta divergencia conceptual se evidencia al contrastar las experiencias de Singapur y Rotterdam. Mordor

Intelligence (2024a) atribuye el éxito del Mapa de Transformación de la Industria Logística (ITM) de Singapur principalmente a la inversión tecnológica; sin embargo, el análisis revela que el marco regulatorio simplificado constituye el fundamento que permite la efectividad de dichas inversiones. De manera similar, el proyecto "Rail Connected" de Rotterdam, documentado por Port of Rotterdam (2024), no puede entenderse únicamente como una iniciativa tecnológica, sino como el resultado de una integración regulatoria previa bajo las directivas de la Unión Europea.

La discrepancia más significativa emerge con la perspectiva de UPS (2021) sobre el Centro de Innovación en Singapur, la cual presenta la implementación tecnológica como un proceso autónomo. Los hallazgos contradicen esta visión, demostrando que la efectividad de estas innovaciones depende fundamentalmente de la coordinación intermodal, facilitada por marcos regulatorios integrados, un aspecto que Panamá aún no ha desarrollado completamente.

El análisis comparativo con Singapur y Rotterdam genera debates sustanciales sobre la transferibilidad de mejores prácticas entre contextos geográficos y económicos diferentes. Dewiatena y Bahagia (2023) argumentan que las características específicas de cada puerto determinan la aplicabilidad de estrategias logísticas. Esta visión se complementa con la de Panayides y Song (2009), quienes postulan que la competitividad portuaria no depende solo de la infraestructura portuaria en sí, sino de la calidad de su integración con el transporte terrestre y la eficiencia de la coordinación entre los actores públicos y privados de la cadena logística, un aspecto donde los hallazgos muestran que Panamá presenta brechas significativas. No obstante, el enfoque de Dewiatena y Bahagia (2023) presenta limitaciones conceptuales al no considerar la dimensión terrestre de la integración logística. El estudio demuestra que la competitividad de hubs logísticos como Panamá no puede evaluarse exclusivamente desde la perspectiva portuaria, sino que requiere el análisis integral del sistema multimodal, con especial énfasis en el transporte terrestre como elemento articulador.

La convergencia con Arvis et al. (2023) en el Índice de Desempeño Logístico (LPI) proporciona validación externa a los hallazgos, particularmente al identificar las brechas de desempeño entre Panamá (3.1), Singapur (4.3) y Rotterdam (4.1). Sin embargo, surge una

divergencia interpretativa importante: mientras el LPI 2023 presenta estos puntajes como métricas estáticas, el análisis revela que estas diferencias reflejan disparidades estructurales sistemáticas en la integración de componentes logísticos.

El debate sobre la modernización tecnológica presenta convergencias y divergencias complejas con la literatura especializada. La perspectiva de InBound Logistics (2024) sobre la optimización mediante tecnologías IoT coincide con la importancia de la digitalización, pero diverge en la secuencia de implementación propuesta. El análisis revela que Panamá enfrenta una paradoja tecnológica: si bien las soluciones digitales están disponibles, su implementación efectiva requiere la resolución previa de ineficiencias operativas básicas, como la mejora del estado de la infraestructura vial. Esta perspectiva contradice parcialmente el enfoque de Camae (2019) sobre Rotterdam, que presenta la transformación digital como un proceso lineal y autónomo.

La divergencia más significativa emerge con Ship Technology (2021) respecto a la implementación de blockchain en Rotterdam. Mientras esta fuente presenta la tecnología blockchain como una innovación revolucionaria independiente, el análisis demuestra que su efectividad depende de la integración previa de sistemas de información y la estandarización de procesos operativos, aspectos que Panamá aún debe desarrollar sistemáticamente.

Estos hallazgos contribuyen a un debate teórico más amplio sobre la naturaleza de la competitividad en hubs logísticos globales. La perspectiva tradicional, representada por estudios del Grupo Banco Mundial (2014), enfatiza los costos de transporte como indicador primario de competitividad. Los resultados confirman parcialmente esta visión al documentar que los costos de transporte terrestre en Panamá (0.17 USD/ton-km) superan significativamente los de referentes internacionales (0.10 USD/ton-km).

No obstante, emerge una divergencia conceptual importante. Mientras el enfoque tradicional interpreta estos costos como variables independientes, el análisis, a través de la ingeniería inversa, devela manifestaciones de ineficiencias sistémicas más profundas. Esta perspectiva sistémica se alinea con la propuesta de 3D Engineering Solutions (2024) sobre la importancia del análisis estructural de sistemas complejos, pero la trasciende al incorporar dimensiones regulatorias y de coordinación intermodal.

El contexto de la adquisición portuaria por el consorcio liderado por BlackRock, documentado por CBS News (2025) y Reuters (2025), genera debates sobre el impacto del financiamiento privado en la modernización logística. Medios como Fox Business (2025) y Newsweek (2025) presentan esta adquisición como una oportunidad de modernización automática; sin embargo, los hallazgos sugieren una perspectiva más matizada. La inversión de 22.8 mil millones de dólares en infraestructura portuaria, aunque significativa, no resuelve automáticamente las ineficiencias del transporte terrestre identificadas en este estudio. Esta divergencia interpretativa es crucial porque evidencia que la modernización de hubs logísticos requiere inversiones coordinadas en todos los componentes del sistema multimodal, no únicamente en infraestructura portuaria.

La convergencia con Hernández (2024) sobre el Plan Estratégico Gubernamental 2025-2029, que destina 8.5 mil millones de dólares a proyectos logísticos, proporciona una perspectiva más integral. Sin embargo, los hallazgos sugieren que la efectividad de estas inversiones dependerá de su coordinación con las mejoras en transporte terrestre y la simplificación regulatoria, aspectos que requieren atención prioritaria.

Finalmente, si bien este estudio es metodológicamente riguroso, su dependencia de fuentes públicas sugiere que futuras investigaciones podrían enriquecerse con estudios de campo y modelización cuantitativa, especialmente ante los cambios recientes en la gestión portuaria panameña.

5. Conclusiones

La ingeniería inversa del sistema de transporte terrestre, propuesta como método central en este estudio, ha permitido cumplir el objetivo de diagnosticar la raíz sistémica de la suboptimización logística de Panamá. Los hallazgos revelan una paradoja: a pesar de sus ventajas geográficas y su infraestructura canalera, el sistema de transporte terrestre opera con una eficiencia que compromete sistemáticamente su potencial como hub logístico global.

El análisis de descomposición ha demostrado que las ineficiencias identificadas, como los costos de transporte terrestre que superan en un 70% los estándares internacionales y una brecha de 1.2 puntos en el Índice de Desempeño Logístico respecto a

referentes como Singapur, no constituyen deficiencias aisladas ni susceptibles de corrección incremental. Por el contrario, son manifestaciones de una disfunción sistémica profunda, producto de décadas de desarticulación entre componentes críticos. La raíz de esta disfunción sistémica radica fundamentalmente en la ausencia de integración entre cuatro pilares: (1) una infraestructura vial con un 79.1% de la red interurbana en condiciones subóptimas; (2) una adopción tecnológica fragmentada que dificulta la trazabilidad logística integral y la visibilidad en tiempo real; (3) marcos regulatorios de complejidad prohibitiva que generan fricciones operativas sistemáticas; y (4) una coordinación intermodal deficiente que desaprovecha las sinergias naturales entre el Canal, los puertos y la Zona Libre de Colón. Estas limitaciones estructurales han sido contrastadas con las mejores prácticas de Singapur y Rotterdam, evidenciando las brechas significativas en cada una de estas áreas.

La trascendencia de estos hallazgos se magnifica en el contexto de las transformaciones estructurales que experimenta actualmente el sector logístico panameño. La adquisición de los puertos principales por 22.8 mil millones de dólares y la implementación del Plan Estratégico Gubernamental 2025-2029, con una inversión de 8.5 mil millones de dólares, configuran una ventana de oportunidad única e irrepetible para la implementación de reformas sistémicas. Esta coyuntura excepcional demanda que las autoridades nacionales trasciendan los enfoques de mejoramiento incremental para adoptar una visión transformacional, reconociendo la interdependencia crítica entre todos los componentes del sistema logístico. Los referentes internacionales demuestran que la excelencia logística emerge de la orquestación sinérgica de ecosistemas integrales, donde el transporte terrestre actúa como catalizador.

La metodología de ingeniería inversa aplicada ha proporcionado fundamentos sólidos para la toma de decisiones estratégicas, yendo más allá del benchmarking superficial al desglosar las interacciones causales que perpetúan la suboptimización sistémica. Esta aproximación ha permitido evidenciar que, si bien la tecnología es crucial, su efectividad depende de la resolución previa de ineficiencias operativas y de un marco regulatorio y de coordinación intermodal integrado, divergencias conceptuales significativas respecto a algunos autores que plantean la tecnología como solución autónoma.

La reingeniería integral del sistema de transporte terrestre es una tarea de gran magnitud, pero perpetuar el status quo conlleva un riesgo mayor: la erosión irreversible de las ventajas competitivas de Panamá. Las decisiones estratégicas de los próximos años determinarán si el país se consolida como un hub logístico hemisférico líder o cede ante la inacción.

Referencias Bibliográficas

3D Engineering Solutions. (2024, 24 de abril). Steps in the reverse engineering process. <https://3d-engineering.net/reverse-engineering-process-steps/>

Abdulrahman, A. S., Khalil, K., Alabdani, R., & Alshahrani, A. (2024). AI-driven optimization of urban logistics in smart cities: Integrating autonomous vehicles and IoT for efficient delivery systems. *Sustainability*, 16(24), 11265. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/24/1126>

Arvis, J.-F., Ojala, L., Shepherd, B., Ulybina, D., & Wiederer, C. (2023). *Connecting to compete 2023: Trade logistics in the global economy: The logistics performance index and its indicators*. The World Bank. https://lpi.worldbank.org/sites/default/files/2023-04/LPI_2023_report.pdf

Asana. (2024, 9 de octubre). What is benchmarking? How to set a benchmark [2024]. <https://asana.com/resources/benchmarking>

Camae. (2019). *Rotterdam se transforma en uno de los puertos digitales líderes en el mundo*. <https://www.camae.org/comercio-exterior/rotterdam-se-transforma-en-uno-de-los-puertos-digitales-lideres-en-el-mundo/>

CBS News. (2025, 5 de marzo). BlackRock strikes \$23 billion deal to place Panama Canal ports under American control. <https://www.cbsnews.com/news/blackrock-panama-canal-deal-ck-hutchison-trump/>

Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6th ed.). Pearson Education. [https://rudyct.com/supchn/Supply%20chain%20management%20strategy,%20planning,%20and%20operation%20\(Chopra,%20Sunil%20Meindl,%20Peter%20Vir%20Kalra,%20Dharam\)2016.pdf](https://rudyct.com/supchn/Supply%20chain%20management%20strategy,%20planning,%20and%20operation%20(Chopra,%20Sunil%20Meindl,%20Peter%20Vir%20Kalra,%20Dharam)2016.pdf)

Construir. (2025, junio 11). *Panamá prioriza y reactiva proyectos viales por más de US\$590 millones*. <https://www.construir.connectab2b.com/post/panam%C3%A1-prioriza-y-reactiva-proyectos-viales-por-m%C3%A1s-de-us-590-millones>

Corporación Andina de Fomento [CAF]. (2020). *Ánalisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040: Panamá*. https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1537/Panama_Analisis_de_Inversiones_en_el_Sector_de_Transporte_Interurbano_Terrestre_Latinoamericano_a_2040.pdf

Dewiatena, A. D., & Bahagia, S. N. (2023). Comparative study of port business characteristics with maritime logistics approach in ports: Shanghai, Singapore, Busan, and Rotterdam. *Asian Journal of Social and Humanities*, 1(10). <https://doi.org/10.5988/ajosh.v1i10.68>

Durán, L. (2025). *Panamá frente a un reto logístico: modernizar el sistema vial terrestre para un transporte multimodal eficiente*. Hub News. <https://www.hub.com.pa/panama-frente-a-un-reto-logistico-modernizar-el-sistema-vial-terrestre-para-un-transporte-multimodal-eficiente/>

El Capital Financiero. (2025). *Panamá invertirá \$775 millones en infraestructura vial en los próximos 10 años*. <https://elcapitalfinanciero.com/panama-invertira-775-millones-en-infraestructura-vial-en-los-proximos-10-anos/>

González, G. (2025). *Competitividad del sector marítimo en los puertos panameños* [Video]. Eco TV Panamá. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=jpF3g0hr_bY

Grupo Banco Mundial. (2014, 6 de marzo). *Centroamérica/BM: Elevados costos de transporte terrestre de carga, un freno a la competitividad* [Comunicado de prensa]. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2014/03/06/centroamerica-elevados-costos-transporte-terrestre-carga-freno-competitividad>

Hernández, K. (30 de diciembre de 2024). *Contemplan inversiones de más \$8,500 millones para reforzar la competitividad logística*. La Prensa Panamá. https://www.prensa.com/economia/contemplan-inversiones-de-mas-de-8500-millones-para-reforzar-competitividad-logistica/#google_vignette

InBound Logistics. (2024, 19 de marzo). *IoT in logistics: Enhancing efficiency and visibility*. <https://www.inboundlogistics.com/articles/iot-in-logistics/>

Kraemer & Kraemer. (2024, 12 de diciembre). *Guía para negocios en la Zona Libre de Colón*. Kraemer Law. <https://kraemerlaw.com/es/articles/todo-sobre-negocios-zona-libre-colon-panama/>

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage Publications. <https://ethnographyworkshop.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/lincoln-guba-1985-establishing-trustworthiness-naturalistic-inquiry.pdf>

Mordor Intelligence. (2024a). *Industria logística de Singapur: análisis de mercado y tendencias*. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/singapore-freight-and-logistics-market>

Mordor Intelligence. (2024b). *Tendencias del mercado de transporte y logística de Singapur*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/singapore-freight-and-logistics-market>

Munim, Z. H., & Schramm, H. J. (2018). The impacts of port infrastructure and logistics performance on economic growth: The mediating role of seaborne trade. *Journal of Shipping and Trade*, 3(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s41072-018-0027-0>

Newsweek. (2025). *BlackRock's \$23 Billion Panama Canal Deal: What We Know So Far*. <https://www.newsweek.com/blackrock-panama-canal-deal-what-we-know-2040093>

Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J. P. (2021). Port economics, management and policy. *Transport Geography*, 99, 103285. <https://doi.org/10.1016/j.itrangeo.2021.103285>

Otto, K. N., & Wood, K. L. (2001). Product design: Techniques in reverse engineering and new product development. Prentice Hall. https://www.researchgate.net/publication/239225522_Product_Design_Techniques_in_Reverse_Engineering_and_New_Product_Development

Panayides, P. M., & Song, D. W. (2009). Port integration in global supply chains: A multiple-choice perspective. *Maritime Economics & Logistics*, 11(2), 152-169. <https://doi.org/10.1057/mel.2009.2>

Port of Rotterdam. (2024). *First blockchain container shipped to Rotterdam*. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/first-blockchain-container-shipped-rotterdam>

Port of Rotterdam. (2024). *Rail Connected: digitalización de la cadena ferroviaria de carga*. <https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/digitisation>

Raja, V., & Balamurugan, K. (2012). Reverse engineering: An industrial perspective. Springer Science & Business Media. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84628-856-2>

Reuters. (2025, 5 de marzo). *BlackRock to buy Hong Kong firm's Panama Canal port stake amid Trump pressure*. <https://www.reuters.com/markets/deals/ck-hutchison-sell-80-stake-hutchison-ports-group-1777-billion-deal-2025-03-04/>

SCM Dojo. (2025, enero 29). *9 Must-Have Logistics Competencies and Skills to Master*. <https://www.scndojo.com/9-must-logistics-competencies/>

Techneeds. (2024, diciembre 25). Understanding Logistics Job Titles: A Complete Tutorial for Aspiring Professionals. <https://www.techneeds.com/2024/12/25/understanding-logistics-job-titles-a-complete-tutorial-for-aspiring-professionals/>

United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD]. (2021). Review of Maritime Transport 2021. United Nations. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf

UPS. (2021). *UPS abre el primer Centro de Innovación en Singapur para optimizar la logística*. <https://about.ups.com/es/es/our-stories/innovation-driven/ups-opens-first-innovation-centre.html>

Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods* (5th ed.). Sage. <https://utppublishing.com/doi/10.3138/cjpe.30.1.108>