

**Evolución de la cadena de suministro: impacto de las tecnologías disruptivas y estrategias
de integración en el Caribe colombiano**

Laureano José Maya Barroso

Asesor

Juan Carlos García Rodríguez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI)

Ingeniería Industrial

2026

Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por la oportunidad de culminar mi formación profesional. Igualmente, agradezco a la red de tutores de la Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías por el acompañamiento docente y las valiosas enseñanzas aportadas. De manera especial, agradezco al tutor Juan Carlos García Rodríguez por su asesoría y valiosas sugerencias constructivas que fueron fundamentales para este trabajo.

Resumen

Esta investigación de alcance teórico-exploratorio analiza la gestión de la Cadena de Suministro (CS) para identificar los retos y las oportunidades que emergen de la adopción de Tecnologías Disruptivas (TD) bajo el marco de la Industria 4.0. Mediante una revisión documental de carácter cualitativo, sustentada en una muestra de 25 fuentes fundamentales, se contrasta el marco conceptual global con la evidencia de aplicación en el contexto colombiano y la región Caribe. Los resultados destacan una asimetría de madurez digital: centros portuarios altamente tecnificados que contrastan con un transporte terrestre caracterizado por la fragmentación, la obsolescencia de flotas y altas barreras de costo y talento. Para transformar estos déficits estructurales y elevar el Índice de Desempeño Logístico (LPI), se propone un Modelo de Logística 4.0 Moderada como marco conceptual base para las pymes, apoyado en la implementación de métricas híbridas de ecoeficiencia, visibilidad y resiliencia. Se concluye que la competitividad regional depende de una adopción estratégica y escalonada de las TD, manteniendo vigilancia tecnológica sobre innovaciones a largo plazo.

Palabras Clave: Logística 4.0, Madurez digital, Índice de Desempeño Logístico, Métricas híbridas, Resiliencia.

Abstract

This theoretical-exploratory research analyzes Supply Chain (SC) management to identify the challenges and opportunities arising from the adoption of Disruptive Technologies (DT) within the framework of Industry 4.0. Through a qualitative documentary review, based on a sample of 25 fundamental sources, the global conceptual framework is contrasted with the evidence of application in the Colombian context and the Caribbean region. The results highlight an asymmetry in digital maturity: highly technified port centers contrasting with land transportation characterized by fragmentation, fleet obsolescence, and high cost and talent barriers. To transform these structural deficits and raise the Logistics Performance Index (LPI), a "Moderated Logistics 4.0 Model" is proposed as a baseline conceptual framework for SMEs, supported by the implementation of hybrid metrics of eco-efficiency, visibility, and resilience. It is concluded that regional competitiveness depends on a strategic and phased adoption of DT, maintaining technological vigilance over long-term innovations.

Keywords: Logistics 4.0, Digital maturity, Logistics Performance Index, Hybrid metrics, Resilience.

Tabla de contenido

Introducción	13
Planteamiento del Problema	14
Justificación	16
Aporte Disciplinar (Ingeniería Industrial)	16
Aporte Teórico y Documental	17
Contexto regional.....	17
Objetivos.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Específicos.....	19
Marco Teórico.....	20
Teoría de la Gestión de la CS	20
Teoría de la Innovación Disruptiva.....	20
Teoría General de Sistemas	20
Teoría de la Cadena de Valor.....	21
Marco Conceptual.....	22
Cadena de Suministro	22
Tecnologías Disruptivas.....	22
Inteligencia Artificial	22
Internet de las Cosas	22

Big Data	23
Blockchain	23
Transformación Digital.....	23
Competitividad.....	23
Integración de Sistemas	23
Logística 4.0.....	24
Industria 4.0	24
Metodología	25
Diseño de la Investigación	25
Teórico Exploratorio.....	25
Naturaleza del Modelo.....	25
Muestra documental.....	25
Principio de Inclusión e Identificación de Base de Datos.....	25
Principio de Exclusión de documentos	26
Principio de elegibilidad	26
Procedimiento de Análisis de Datos	26
Identificación de la Evolución de la CS y las TD que Impulsan su Transformación	28
Identificación de la Evolución de la CS.....	28
El Origen de la Logística: Del Sedentarismo a la Necesidad de Suministro	28
La logística y su Legado en las Prácticas Militares Antiguas.....	28

Primeros Indicios de la Influencia Tecnológica.....	28
Revolución Industrial y el Ferrocarril.....	29
El Origen de la Logística Académica	29
La logística un Enfoque Formal y Estructurado	29
La Logística y su Enfoque en el Cliente	30
Surge el Interés Científico	30
La Creación de la Primera Institución Logística.....	30
El Análisis de la Gestión Logística Integrada.....	31
La Era de la Información	31
Colaboración interorganizacional	31
Identificación de las TD que Impulsan la Transformación de la CS	33
De la disrupción tecnológica a procesos evolutivos y estratégicos	33
La CS como Solución Estratégica Integral	34
Fuerzas Externas que Moldean la CS Contemporánea	35
Las TD como Habilitadores de la CS 4.0	37
Contraste del Impacto Teórico de las Tecnologías Disruptivas en la Cadena de Suministro en la Región Caribe.....	41
La Brecha del Contexto Local	41
Barreras de Implementación	43
Madurez digital asimétrica.....	44

Contraste del Estado Actual en Colombia frente a las Tendencias Globales	44
Criterios Analíticos de Competitividad Global.....	45
Trazabilidad y Visibilidad.....	46
Gestión del Riesgo y Resiliencia	46
Eficiencia Operacional y Costos.....	46
Instrumento de Evaluación	47
Síntesis de Hallazgos	49
Validación Conceptual.....	50
Evaluación de Impacto Teórico de la implementación de las Tecnologías Disruptivas en la Cadena de Suministro en la Región Caribe	51
Matriz de Correspondencia de Objetivos.....	51
Las TD como Generadoras de Ventaja Competitiva	52
La Trazabilidad como Sello de Confianza.....	52
La Anticipación como Nuevo Estándar de Resiliencia Proactiva	52
La Eficiencia como Motor de Rentabilidad.....	53
Desempeño Sostenible de las CS y la necesidad de métricas híbridas	54
Inviabilidad de adopción a corto plazo para la 3DP y AR.....	54
Estrategias de Adopción de TD en la Región Caribe	56
Integración Holística como Requisito de Éxito	57
Propuesta de Fortalecimiento.....	58

Modelo de Transición Multinivel	59
Nivel 1 (Corto Plazo): Eficiencia Analítica Básica	60
Nivel 2 (Mediano Plazo): Cultura Digital y Ecosistemas Colaborativos	60
Nivel 3 (Largo Plazo): Automatización Avanzada	61
Proyección a Futuro: Trazabilidad y Resiliencia como Ventaja Competitiva	61
Conclusiones	63
Interconexión Digital de la CS en la región Caribe	63
Transformación Estratégica: Sincronización para el Tejido Pyme	64
Resiliencia Sistémica como Ventaja Competitiva para las Pymes	64
Recomendaciones	66
Para el Sector Empresarial y Transporte Terrestre (Pymes)	66
Para la Academia e Instituciones de Formación	66
Para Operadores Portuarios y Grandes Generadores de Carga	67
Para Gerencias y Niveles Directivos	67
Instrumentos de Medición 4.0 (Propuesta de Contenido)	67
Indicador de Intensidad de Carbono por Valor (ICUV)	67
Índice de Visibilidad Operativa (IVO)	68
Tasa de Resiliencia ante Disrupciones	68
Tasa de Adopción de Competencias 4.0	68
Futuras Líneas de Investigación	69

Estandarización de Marcos para la CS Sostenible	69
Validación del Modelo Multinivel en Diversos Contextos.....	69
Desarrollo de Métricas Híbridas de Ecoeficiencia.....	69
Trazabilidad Especializada en Cadenas de Valor Regionales	69
Vigilancia Tecnológica y Prospectiva de la 3DP Y AR en el Caribe	70
Referencias Bibliográficas	71

Lista de Figuras

Figura 1. Evolución de la CS Tradicional.....	32
Figura 2. Diagrama Radial de Fuerzas.....	35
Figura 3. Desempeño Logístico Sostenible.	42
Figura 4. Intersección de los Criterios Analíticos.....	47
Figura 5. Progresión Conceptual de la CS.....	49
Figura 6. Integración Holística.	57
Figura 7. Modelo de Transición Multinivel.....	59
Figura 8. Transformación Estratégica Logística.....	62

Lista de tablas

Tabla 1 Matriz de Síntesis y Contraste de Hallazgos..... 48

Tabla 2 Matriz de Correspondencia entre Objetivos, Hallazgos y Conclusiones 51

Introducción

La gestión de la CS ha evolucionado desde una serie de funciones tácticas y fragmentadas orientadas fundamentalmente a la reducción de costos, hacia una consolidación de sistemas ciberfísicos¹ (CPS) orientados a la ecoeficiencia. En este escenario, la presente monografía analiza el impacto de la implementación de las TD en las operaciones logísticas, con un enfoque particular en el contexto del Caribe colombiano.

La pertinencia de este estudio radica en el cambio de paradigma que exige el comercio actual. La agilidad, la visibilidad en tiempo real y la resiliencia sistémica han dejado de ser valores agregados para convertirse en estándares básicos de supervivencia y competitividad empresarial. Para dar respuesta a las dinámicas que implica la adopción de las TD, esta investigación se fundamenta en una revisión sistemática de literatura de carácter cualitativo, estructurando el análisis documental en los siguientes cuatro ejes centrales.

- Identificación de los hitos que transforman la logística desde una visión puramente operativa hacia una estrategia sistémica integral.
- Exploración de la convergencia entre la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT) y el Blockchain como motores de cambio en la red de valor.
- Contraste analítico entre los estándares globales de la Industria 4.0 y la realidad de la eficiencia operativa en la región Caribe.
- Formulación de un modelo de transición hacia la logística 4.0 que priorice la optimización de los activos existentes y el desarrollo de competencias digitales en el talento humano.

¹ Los Sistemas Ciberfísicos (CPS) representan la integración de redes de computación y procesos físicos, donde algoritmos informáticos monitorean y controlan activos tangibles en tiempo real. En la Cadena de Suministro 4.0, esto permite que la maquinaria y los sistemas digitales operen de forma sincronizada y autónoma.

Planteamiento del Problema

La implementación de TD está impulsando a las organizaciones hacia innovaciones que prometen revolucionar la gestión de las CS, permitiendo soluciones tecnológicas eficaces para aumentar la competitividad. Estas cadenas han evolucionado de un modelo logístico tradicional a sistemas digitales altamente complejos. Si bien esta evolución ha traído mejoras significativas, también ha planteado nuevos desafíos. La rápida adopción ha generado una brecha entre las organizaciones que se adaptan exitosamente y las que se rezagan.

La problemática de la implementación de las TD radica en la falta de una comprensión integral de las implicaciones teóricas y prácticas de estas tendencias. Esto conlleva a que algunas empresas implementen nuevas tecnologías sin una estrategia clara, resultando en deficiencias en la gestión de sus recursos, ya que gestionar grandes volúmenes de datos representa un desafío en el camino hacia la digitalización. Otro reto importante es la colaboración eficiente entre organizaciones, la falta de comunicación genera desconfianza, dificulta la organización y optimización de los procesos logísticos.

La ineficiencia operativa más que un problema técnico, es un lastre financiero para la competitividad nacional. En Colombia, los costos logísticos representan una barrera estructural, en el estudio realizado por Calatayud y Katz (2019), encontraron que el costo por unidad se sitúa , en promedio, en el 15%, muy por encima del 9% que promedian los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y al 8% de Estados Unidos (p. 118). Además los estudios académicos de la OCDE Colombia (2024), con base en los datos de la Encuesta Nacional Logística, indican que estos sobrecostos pueden dispararse hasta representar

el 18% del valor total de los envíos, lo que impacta directamente en la eficiencia de la última milla².

Lo que impone un sobre costo estructural que resta competitividad a los productos nacionales en el mercado global, esta disparidad de 6 puntos porcentuales evidencia la urgencia de migrar de modelos tradicionales a cadenas de suministro digitales más eficientes.

La gestión del cambio es otro factor crítico, ya que la implementación de nuevas tecnologías requiere una transformación cultural, capacitación específica de los colaboradores y voluntad de inversión económica en habilidades digitales. Al respecto, Viu y Castillo (2022) proponen que los profesionales de la logística deberán fortalecer sus competencias y habilidades laborales para adaptarse a los desafíos que presentan las TD, para garantizar la satisfacción de los consumidores y la sostenibilidad de la CS (p. 6). Tal como indican los autores la transformación digital no es posible, al menos de forma eficiente, sin contar con un personal altamente capacitado para los retos que imponen las nuevas tendencias tecnológicas.

Además, la falta de datos precisos y confiables afecta la toma de decisiones, haciendo necesario invertir en sistemas para recopilar, analizar y utilizar información efectivamente.

Estas incertidumbres llevan a la pregunta de investigación: ¿Qué retos y beneficios genera la implementación de las TD en la gestión de las CS del Caribe colombiano?

² El término "última milla" se refiere a la fase final del proceso logístico, que comprende el transporte desde el último nodo de distribución o centro de consolidación hasta el consumidor final. En Colombia, es críticamente ineficiente por la fragmentación del transporte terrestre y los altos costos operativos urbanos y rurales.

Justificación

La CS en Colombia se encuentra ante la necesidad de migrar del paradigma logístico tradicional enfocado en el costo hacia un modelo integrado, resiliente y tecnológico inherente a la Industria 4.0. Al respecto Ynzunza-Cortés et al. (2017) consideran que la implementación de las tecnologías de la industria 4.0 traería muchos beneficios a las empresas, especialmente pymes y es vista como una estrategia para desarrollar ventajas competitivas por muchos países (p. 2).

La literatura global establece el imperativo de adoptar las TD como el IoT y Blockchain para optimizar la trazabilidad y la visibilidad para la consecución de ventaja competitiva. La realidad operacional colombiana presenta una problemática logística en relación con la capacidad técnica aplicada en temas de capacitación digital. En relación con el tema, Blanchard (2010) sugiere que el éxito o fracaso de una CS depende de la calidad de las personas que la gestionan, destacando la importancia de contar con un equipo comprometido y capaz (p. 14). En consecuencia, las organizaciones y sus administradores tienen el deber de cambiar sus estrategias en pro de garantizar que la CS en Colombia migre hacia las tecnologías 4.0. Esta monografía se justifica en tres dimensiones fundamentales.

Aporte Disciplinar (Ingeniería Industrial)

El estudio provee una síntesis estructurada para el ingeniero industrial, identificando las barreras que impiden la optimización sistémica. De acuerdo con Jacobs y Chase (2019), una CS eficiente se orienta a crear la mayor eficiencia de costos, eliminando las actividades que no agregan valor, aplicando técnicas para optimizar la producción y distribución, y garantizando la transmisión de la información más eficiente, precisa y eficaz (p. 406). Esto permite enfocar la inversión futura en infraestructura digital, y no solo física, y diseñar modelos de gestión de riesgo más robustos y adaptados a la realidad nacional.

Aporte Teórico y Documental

La monografía integra y contrasta la evolución conceptual de la CS, desde sus bases hasta las perspectivas de gestión de riesgos y la CS 4.0. De tal forma la CS ha evolucionado en base al conocimiento, la tecnología y a la influencia de países y factores externos. Para aprovechar esta influencia, Jiménez y Hernández, (2002) Consideran que las compañías deben estar conscientes de que los límites de su ámbito de actuación están más allá de sus fronteras naturales y de las de su país, estos límites se pueden extender a nivel global (p. 232). Esta síntesis cualitativa es valiosa para la academia al mapear la ruta de transformación de la CS en el Caribe colombiano.

Contexto regional

La investigación aborda la brecha crítica de implementación tecnológica observada en la región Caribe, vital para el comercio exterior de Colombia. Puertos de talla mundial como Cartagena coexisten con una baja madurez digital en las pequeñas y medianas empresas (pymes³) y en el sistema de transporte terrestre. Al respecto, Pérez-Franco (2022) propone que la estrategia de la CS sirve como el puente lógico entre la estrategia general de la organización y las prácticas operativas de su CS (p. 31). Analizar esta desconexión ofrece un diagnóstico muy importante para definir acciones estratégicas que buscan anular las ineficiencias de la última milla y mitigar el riesgo sistémico.

Esta investigación busca mostrar la necesidad de cerrar la brecha de desempeño logístico que separa a Colombia de los líderes regionales. Según el reciente Informe del LPI analizado por Analdex (2023) Colombia se ubicó en el puesto 66 entre 139 países en el año 2023, perdiendo 8 lugares en comparación con el año 2018 alcanzó el puesto 58 de 160 y en la puntuación general

³ El término pymes se escribe en minúsculas y sin puntos, siguiendo las recomendaciones de la Real Academia Española y la Fundación del Español Urgente (FundéuRAE), que lo consideran un nombre común y no una sigla. Para más detalle, véase: <https://www.fundeu.es/recomendacion/pyme-no-pyme-ni-pyme-1049/>

registró 2.9 puntos de 5.0, contra 2.94 de la edición anterior (p. 4). Este declive evidencia que los esfuerzos tradicionales son insuficientes y justifica la urgencia de trascender la inversión física e incorporar las TD como habilitadores de eficiencia.

Este trabajo describe la evolución y justifica la urgencia de acelerar la transformación digital en el Caribe colombiano para asegurar la competitividad y la resiliencia de la CS ante los desafíos del comercio global.

Objetivos

Objetivo General

Analizar las implicaciones de la implementación de las tecnologías disruptivas en la cadena suministro en el contexto del Caribe colombiano

Objetivos Específicos

Identificar la evolución de la cadena de suministro y las tecnologías disruptivas que impulsan su transformación

Contrastar el impacto teórico de las tecnologías disruptivas en la cadena de suministro en la región Caribe

Evaluar el impacto teórico de la implementación de las tecnologías disruptivas en la cadena de suministro de la región Caribe

Marco Teórico

El marco teórico se sustenta en un sistema integrado de perspectivas que permiten analizar la evolución de la CS y el impacto de las TD.

Teoría de la Gestión de la CS

La CS constituye la base de este estudio. A continuación, se presenta una definición emitida por Blanchard (2010) donde “se establece que la CS es la secuencia de eventos que abarca todo el ciclo de vida de un producto, desde su concepción hasta su consumo” (p. 3). Esta teoría explica la relevancia de la CS para generar valor añadido y ventaja competitiva.

Teoría de la Innovación Disruptiva

Según Christensen (1997), “Los productos basados en TD suelen ser más baratos, más simples, más pequeños y, con frecuencia, más cómodos de usar” (p. 11). Esta teoría postula que las TD redefinen modelos de negocio, desplazan tecnologías establecidas y reconfiguran mercados, obligando a las organizaciones a adaptarse para sobrevivir.

Teoría General de Sistemas

Según Jiménez y Hernández (2002), es una forma sistemática y científica de aproximar y representar la realidad, al tiempo que orienta los análisis desde una perspectiva holística e integradora para identificar las relaciones y comportamiento de los sistemas que a partir de ella emergen (p. 160). Esta perspectiva permite entender la CS como un sistema abierto y complejo, cuyos componentes, interrelacionados e interdependientes, pueden modelarse a través de flujos de entrada, proceso, salida y retroalimentación, analizando cómo la tecnología altera cada elemento.

Teoría de la Cadena de Valor

Propuesta por Porter (1985), considera que cada empresa es un conjunto de actividades (diseño, producción, comercializar, entregar y soporte), la forma en que realiza sus actividades refleja su historia, estrategia, cómo implementarla y la economía subyacente de las propias actividades (p. 39).

En conjunto, este marco teórico permite analizar cómo las TD actúan como motor de cambio para redefinir la estructura y operación de la CS.

Marco Conceptual

Este proyecto se centra en la capacidad de las TD para modificar y mejorar los procesos logísticos e industriales. A continuación, se definen los conceptos clave con base en la literatura especializada.

Cadena de Suministro

Según Jiménez y Hernández, (2002) se define como un sistema integrado por diversas empresas relacionadas entre sí, que trabajan en armonía con el propósito de alcanzar objetivos comunes para la organización y sus integrantes, manteniendo una interacción constante con su medio ambiente (p. 165).

Tecnologías Disruptivas

Según Christensen (1997) se definen como innovaciones tecnológicas que cambian la propuesta de valor en un mercado y tienen otros atributos que algunos clientes marginales (generalmente nuevos) valoran, por lo tanto abren nuevos mercados (p. 175).

Inteligencia Artificial

Según Del Castillo (2023) se define como una disciplina que desarrolla sistemas informáticos o algoritmos con capacidades cognoscitivas e intelectuales similares a las humanas, para llevar a cabo diversas tareas, son capaces de aprender y mejorar con cada interacción (p. 43).

Internet de las Cosas

Según Hernández, E. (2018) es la tecnología que facilita la conexión entre objetos de todo tipo e internet, mediante diferentes tipos de sensores, para recabar información del mundo físico y analizar dichos objetos, y tomar decisiones para mejorar la competitividad (p. 26).

Big Data

Según Del Castillo (2023) Se refiere a grandes conjuntos de datos que son demasiado complejos para ser procesados por herramientas de procesamiento de datos tradicionales, estos conjuntos de datos pueden ser estructurados, semiestructurados o no estructurados y provenir de diversas fuentes (p. 48).

Blockchain

Según Del Castillo (2023) Es una tecnología de registro distribuido que permite la creación de una base de datos compartida, segura, fiable y descentralizada entre múltiples usuarios sin necesidad de intermediarios, mediante el uso de cadenas de bloques verificadas por consenso (p. 46).

Transformación Digital

Integración de tecnologías digitales en los procesos de una organización, alterando su operación y la creación de valor (Calatayud y Katz, 2019).

Competitividad

Capacidad de las organizaciones para lograr un costo menor de producción sin perder calidad o distinguirse de los competidores, esto les permite aumentar su presencia en el mercado ofreciendo productos o servicios que generan valor al cliente (Porter, 1985).

Integración de Sistemas

Sistemas y tecnologías combinadas para administrar el flujo de información, materiales y servicios desde los proveedores hasta el consumidor final, mediante el uso de redes y bases de datos integradas para coordinar de todo el proceso (Jacobs y Chase, 2019).

Logística 4.0

Del Castillo (2023) la define como “una evolución de la logística tradicional que se enfoca en la integración de tecnologías avanzadas para optimizar la gestión de la CS” (p. 38).

Industria 4.0

González, et al (2022) “es la integración de maquinaria y dispositivos físicos complejos con sensores y software en red, que se utilizan para predecir, controlar y planificar mejores resultados empresariales y sociales” (p. 95).

Metodología

La metodología de esta investigación se estructuró en torno a un enfoque de técnicas cualitativas para analizar la evolución de la CS y el impacto de las TD en su implementación. Lo que facilitó la comprensión integral del tema, abordando los aspectos teóricos desde la base bibliográfica existente. A continuación, se detallan las etapas metodológicas.

Diseño de la Investigación

Teórico Exploratorio

El estudio se centró en la revisión sistemática y el análisis crítico de fuentes documentales para identificar patrones y brechas en la gestión de la CS mediante un enfoque cualitativo.

Naturaleza del Modelo

Se definió como un marco conceptual base, el modelo de transición propuesto no constituye una guía de implementación técnica paso a paso, sino una estructura teórica que organiza las prioridades estratégicas para el contexto local.

Muestra documental

Para asegurar la rigurosidad, actualidad y pertinencia de la investigación, la selección de la muestra, integrada por artículos científicos, libros de texto e informes institucionales, se desarrolló mediante un proceso de revisión sistemática estructurado en tres fases.

Principio de Inclusión e Identificación de Base de Datos

A través de bases de datos de alto impacto (Scopus, Redalyc, ScienceDirect) y repositorios institucionales, se rastrearon descriptores clave como "cadena de suministro", "tecnologías disruptivas", "industria 4.0", "Caribe" y "Colombia". Esto permitió conformar un compendio inicial de 65 documentos en un rango temporal de 10 años (2016-2026). Sin embargo

dentro de este principio se estableció una excepción a los criterios temporales y geográficos para incorporar literatura fundacional. Estas obras se integraron al estudio con el propósito estricto de servir como fuentes primarias de investigación para la fundamentación teórica.

Principio de Exclusión de documentos

La muestra se redujo a 40 documentos tras descartar fuentes sin arbitraje académico y se excluyeron aquellas que abordaban la logística y la tecnología desde perspectivas ajenas a la eficiencia empresarial, enfoques militares, puramente informáticos o de ciencias básicas. Así como textos redundantes o con desviación temática.

Principio de elegibilidad

Mediante una lectura crítica se consolidó una muestra definitiva de 25 documentos fundamentales. En esta etapa se seleccionaron estudios vinculados al contexto geográfico del Caribe colombiano y Latinoamérica, dando prioridad a informes macroeconómicos de alto impacto relevantes al contexto local.

Como resultado de este rigor metodológico, cada documento que compone el marco de referencia aporta evidencia directa y valor estratégico para el análisis de las brechas tecnológicas y la resiliencia en la CS.

Procedimiento de Análisis de Datos

El procesamiento de la información se desarrolló mediante un análisis cualitativo estructurado. En primer lugar, se aplicó una codificación abierta para extraer los hallazgos relevantes de cada fuente documental, asignándoles una categoría inicial basada en los criterios analíticos previamente definidos. Posteriormente, se llevó a cabo una síntesis categórica mediante la consolidación de los datos en una matriz comparativa como el eje del marco

metodológico, garantizando la trazabilidad del análisis al permitir identificar de manera objetiva las convergencias y divergencias entre los distintos autores.

La arquitectura de esta propuesta surgió del contraste crítico, entre el imperativo tecnológico presente en la literatura global que promueve la automatización intensiva y la CS 4.0 y los agudos déficits logísticos detectados en la región Caribe, tales como una flota con 21 años de antigüedad promedio, una fragmentación operativa del 61% y costos logísticos que superan en 6 puntos el estándar de la OCDE. Al situarse en esta intersección, el presente estudio no busca agotar la práctica operativa inmediata, sino sentar las bases teóricas fundamentales que permitan transitar del diagnóstico a la acción, sirviendo como plataforma conceptual para futuras investigaciones aplicadas que validen empíricamente la efectividad de estas estrategias en el tejido pyme de la región.

Identificación de la Evolución de la CS y las TD que Impulsan su Transformación

Identificación de la Evolución de la CS

Mediante un recorrido cronológico, que inicia en las rudimentarias prácticas logísticas de las primeras sociedades hasta la compleja red interconectada que las definen hoy, se analizan las etapas que han moldeado la logística tradicional.

El Origen de la Logística: Del Sedentarismo a la Necesidad de Suministro

Suministro es la palabra clave de la transformación de las tribus de hombres primitivos a la sociedad como la vemos hoy. Desde el momento en que esas tribus dejaron de ser nómadas y tomaron la decisión de asentarse en un lugar determinado, necesitaron garantizar el flujo de alimentos y recursos naturales en cualquier estación del año, evento natural fortuito o incluso las guerras. Incluso en sus orígenes y con muy poco conocimiento, el ser humano entendió que la necesidad de sustento y comodidad requiere un esfuerzo extra para encontrar métodos de almacenamiento y preservación de alimentos y recursos.

La logística y su Legado en las Prácticas Militares Antiguas

Las prácticas militares antiguas muestran, en sus primeros registros, que la logística se enfocaba en planificar y garantizar el aprovisionamiento de recursos y materias primas esenciales para las campañas y operaciones militares, lo que permitía a los ejércitos mantener su capacidad operativa y cumplir sus objetivos estratégicos. Este enfoque básico de la logística, centrado en el suministro y la distribución, estableció los principios para el desarrollo de los sistemas logísticos más complejos en civilizaciones como Egipto, Mesopotamia, Grecia y Roma.

Primeros Indicios de la Influencia Tecnológica

Hay rastros de logística en muchas actividades humanas, siempre de la mano de la tecnología. Alrededor de los años 1500 Cristóbal Colón elaboró una excursión a mar abierto que

exigía de su tripulación una demanda alta de provisiones por mucho tiempo. Por otra parte, Napoleón Bonaparte a inicio de los años 1800 mantuvo en vilo a Europa por más de veinte años, con un ejército robusto y fortalecido debido al buen manejo de las provisiones. Estos pequeños avances fueron frutos de rudimentarios sistemas de empaques y embalajes.

Revolución Industrial y el Ferrocarril

Aunque existía una demanda de transporte rápido y eficiente, no fue hasta la invención de la locomotora de vapor, en 1829, que comenzó la revolución tecnológica del transporte en ese país (Bowersox et al., (2007). Entonces surgió un nuevo modelo de transporte más rentable que permitió construir una red de almacenes que superó a la competencia en el servicio al cliente. Este evento permitió la expansión geográfica de los mercados, redujo los costos, aumentó la velocidad y la confiabilidad de las entregas, así como el desarrollo de infraestructura logística y el surgimiento de nuevas formas de hacer negocios. Esto lo convirtió en un modelo para las otras organizaciones y forjó los inicios de la CS moderna que conocemos hoy en día.

El Origen de la Logística Académica

En el campo académico, la logística tiene sus orígenes en 1901 con la aparición del primer escrito que expone la distribución física de productos. Servera-Francés (2010) realiza un reporte que se consolida como un avance significativo hacia la formalización y la aplicación de los principios logísticos al ámbito comercial y la distribución física de productos (p. 5). Este trabajo probablemente fue uno de los primeros en reconocer y analizar sistemáticamente los desafíos y las oportunidades relacionados con el traslado eficiente de los bienes hasta su entrega oportuna al consumidor.

La logística un Enfoque Formal y Estructurado

El concepto de logística apareció formalmente en la década de 1960, inicialmente

enfocado en la distribución física de productos desde la planta hasta el mercado (Coyle et al., 2018). Este evento marcó el inicio de un enfoque estructurado en la gestión del movimiento de productos terminados, sentando las bases para una comprensión integral y una perspectiva orientada al cliente.

La Logística y su Enfoque en el Cliente

La gestión logística a partir de la década de 1960, siguiendo los postulados del marketing, adquirió una orientación hacia el cliente, ofreciendo un servicio según las necesidades y requisitos exigidos (Servera-Francés, 2010, p. 2). Este cambio permitió que la logística se percibiera como una actividad estratégica, capaz de generar ventajas competitivas al adaptarse a las necesidades de los clientes para lograr su satisfacción.

Surge el Interés Científico

La aparición de las primeras publicaciones especializadas en el campo de la logística marcó un hito en su desarrollo. En 1961 surgió la revista "Transportation Journal and Logistics" y en 1964 "Transportation Review," que impulsaron el estudio del trabajo logístico (Servera-Francés, 2010, p. 7). Estas publicaciones proporcionaron el interés académico para investigar y debatir el flujo de conocimientos en el ámbito logístico.

La Creación de la Primera Institución Logística

En 1963, apareció la primera institución dedicada al estudio, desarrollo y difusión de la función logística, tanto en el ámbito empresarial como académico: la "National Council of Physical Distribution Management" (Servera-Francés, 2010, p. 7). Esta iniciativa promovió la colaboración entre el ámbito empresarial y académico, lo que impulsó el interés por la innovación y por mejorar las prácticas logísticas.

El Análisis de la Gestión Logística Integrada

En su obra, Servera-Francés (2010) cita el trabajo de D. J. Bowersox de 1964, quien en su artículo "*Physical distribution development*" realizó un análisis histórico de la gestión logística integrada (p. 5). Este análisis presentó una visión logística sistemática enfocada en las actividades para alcanzar la eficiencia.

La visión de la logística como un sistema integrado, planteada por Bowersox en 1964, se consolida como el punto de partida de la comprensión moderna de la función logística. Esta formalización es un hito clave, aunque la trayectoria logística ha sido moldeada continuamente por las innovaciones y el comercio global.

La Era de la Información

La capacidad de comunicarse en tiempo real produjo un cambio de paradigma en la década de 1990, afectando de manera irrevocable al mundo del comercio a través de la transmisión de información (Bowersox et al., 2007, p. 3). La masiva difusión del Internet y el uso de sistema de planificación de recursos empresariales modificó la gestión de la CS. Sin embargo, mientras ellos veían el Internet solo como un canal de comunicación, hoy debe verse como la infraestructura base para sistemas ciberfísicos con la capacidad de generar un cambio total en la gestión de las operaciones y el comercio a nivel mundial.

Colaboración interorganizacional

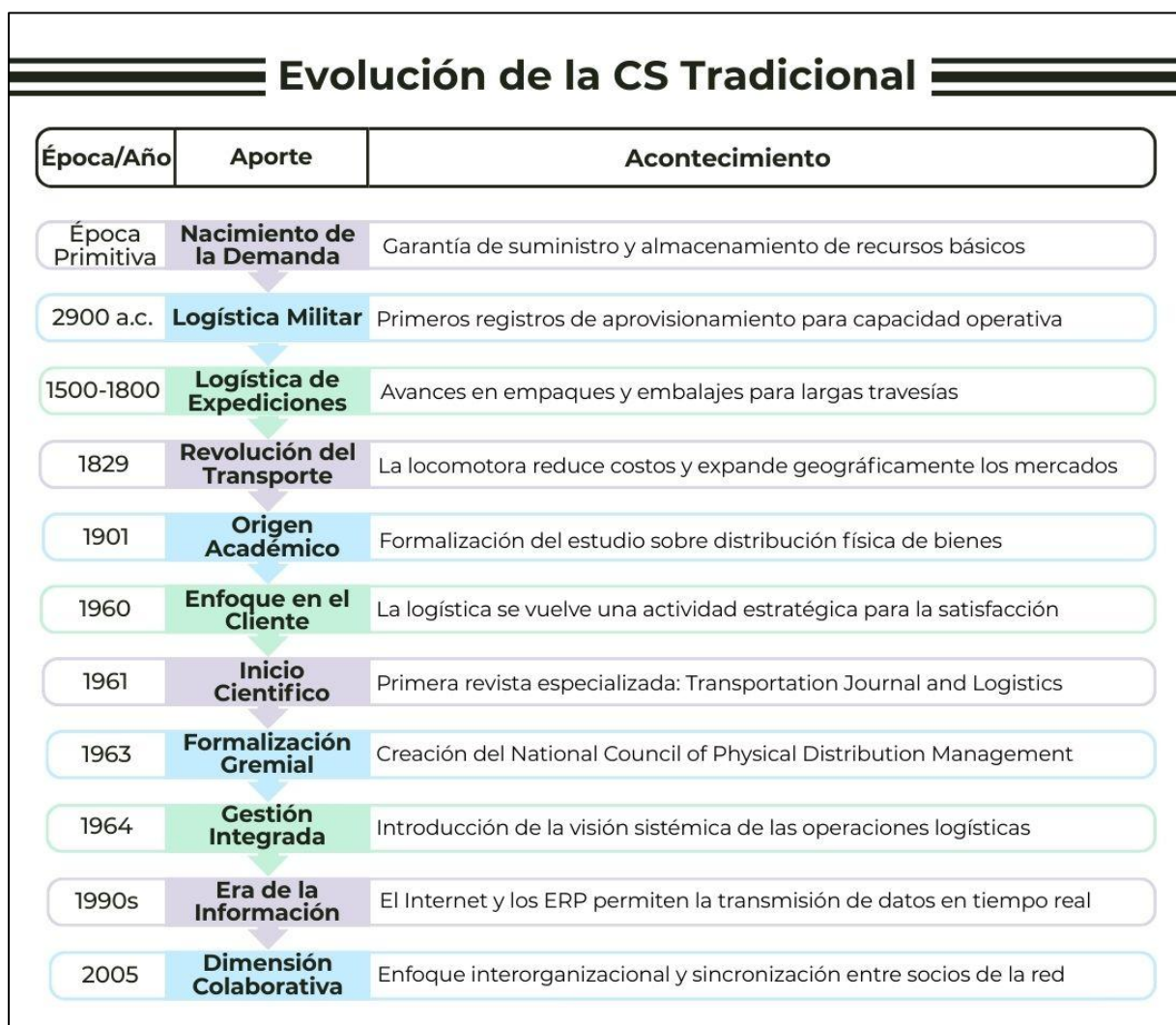
La evolución de la logística ha sido un proceso dinámico de transformaciones tecnológicas, empresariales y Académicas. Un hito importante ocurrió en 2005, cuando el Council of Logistics Management actualizó su nomenclatura a Council of Supply Chain Management Professionals para reflejar la dimensión interorganizacional de la logística

(Servera-Francés, 2010, p. 6). Lo que puso en evidencia la creciente complejidad e importancia de la CS en el mundo.

La CS ha estado marcada por los cambios del sector industrial, se sentaron las bases para la producción en masa, la electrónica, la informática y la automatización temprana de los procesos. La siguiente figura ilustra de forma detallada ese recorrido.

Figura 1.

Evolución de la CS Tradicional.



Nota. Consolidación de la trayectoria de la CS, donde se demuestra cómo ha pasado progresivamente de ser una función táctica a una integración de sistemas ciberfísicos.

Identificación de las TD que Impulsan la Transformación de la CS

Previo al Auge de la IA, surge en el 2020 la cuarta revolución industrial, considerada por Del Castillo (2023) como la evolución de procesos históricos transformadores, que se distingue por la automatización completa de la manufactura mediante sistemas ciberfísicos, fusionando maquinaria y procesos digitales, permitiendo la toma de decisiones descentralizadas y la colaboración a través del IoT (p. 37-38). Es importante destacar que el año 2020 no es el origen de estas tecnologías, es un punto crítico de aceleración global. La crisis generada por la pandemia de COVID-19 y el confinamiento mundial provocaron cambios drásticos en los hábitos de consumo y un crecimiento sin precedentes del comercio electrónico. Esta presión del entorno actuó como un acelerante que obligó a las CS a adoptar de forma inmediata las herramientas de la Industria 4.0 que venían desarrollándose desde 2011, pasando de ser una ventaja competitiva opcional a un requisito indispensable para la supervivencia y la optimización logística.

De la disrupción tecnológica a procesos evolutivos y estratégicos

Una disrupción es definida como "rotura o interrupción brusca" (Real Academia Española, 2024). La acepción en inglés es más relevante, donde "disruptive" se refiere a "causar problemas y, en consecuencia, impedir que algo continúe como de costumbre" (<https://dictionary.cambridge.org>). Esta última definición es más cercana al concepto de tecnología que revoluciona un mercado o industria.

Las TD son la clave de una transformación drástica del funcionamiento operativo y de procesos ligados a la CS, que aunque en ocasiones no forma parte del sistema, emerge como un cambio repentino que desplaza la forma tradicional en la que se implementa un proceso, método, servicio o producto. Pero es necesario aclarar que, si bien la tecnología puede ser disruptiva por

su impacto repentino en el mercado, su adopción dentro de la CS debe ser un proceso evolutivo y estratégico, esto genera cambios en los planteamientos organizacionales, los modelos de negocio y las formas en las que se relacionan los actores de la CS.

La CS como Solución Estratégica Integral

Se ha evidenciado que aspectos notorios como el ferrocarril, la consolidación empresarial, la creciente influencia del consumidor y las políticas gubernamentales han actuado como facilitadores para la transformación de la CS. La logística, vista inicialmente como una función operativa se ha transformado en un pilar estratégico fundamental para la competitividad organizacional, impulsada por la obligación de adaptarse a un mercado cada vez más interconectado o desaparecer en el intento.

La función logística ha sufrido cambios radicales que han llevado a las organizaciones a la necesidad de colaborar con otros actores en un conjunto de actividades con el fin de buscar una solución práctica y eficiente a los grandes desafíos que implica llegar a los consumidores y mantener el interés por los productos o servicios ofrecidos. Sin embargo, surge una crítica fundamental al modelo heredado de la distribución industrial territorial expresado por Jiménez y Hernández (2002) que a partir de varias opiniones de expertos definen la CS como, “un término que plantea la integración de procesos de negocios de varias organizaciones para lograr un mayor impacto en la reducción de costos, velocidad de llegada al mercado, servicio al cliente y rentabilidad de cada uno de los participantes” (p. 15). Por lo tanto, se deduce que la eficiencia tradicional ya no es suficiente para la competitividad moderna sin la incorporación de la flexibilidad que aportan las TD.

Fuerzas Externas que Moldean la CS Contemporánea

Para comprender la urgencia en la adopción de las TD, es necesario identificar las presiones externas que obligan a la CS a evolucionar. Coyle et al. (2018) proponen cinco fuerzas externas importantes que impulsan el ritmo del cambio: globalización, tecnología, consolidación organizativa, consumidor empoderado y, de igual modo, políticas y regulación (p. 6-7). En ese sentido, se visualiza la interacción y la presión que estas fuerzas ejercen sobre la cadena.

Figura 2.

Diagrama Radial de Fuerzas.



Nota. Ilustración de los cinco motores de cambio que actúan forma simultánea, obligando a la CS a la adaptación estratégica constante. Adaptado de Coyle et al. 2018 (p. 7).

La Tecnología. Es el insumo necesario para garantizar la evolución de la CS, actúa como una fuerza que redefine la dinámica del mercado al facilitar el acceso constante a la información, rompiendo el esquema tradicional. Los avances tecnológicos han permitido el acceso a la información y multiplicado las oportunidades de cooperación.

Consolidación Organizativa. Después de la Segunda Guerra Mundial hubo un cambio trascendental de poder dentro de la CS, el uso correcto de la información entre los puntos de venta facilitó la mitigación de la fluctuación en la demanda, dando paso a organizaciones adaptadas a las exigencias de los clientes, facilitando la colaboración como una fuente importante de innovación.

El Consumidor Empoderado. La CS debe adaptarse al consumidor y no al mercado, una dinámica impulsada por la disponibilidad masiva de información a través de internet. Como lo expresan Budet y Pérez (2018), la transformación tecnológica añade valor a la experiencia del cliente y permite personalización de servicios y productos, mejores tiempos de entrega y compras a la medida (p. 14). Así, los consumidores exigen precios económicos, productos personalizados y una respuesta ágil a sus necesidades, transformando las estrategias de distribución y mercadotecnia.

Impacto de las Políticas y Regulaciones Gubernamentales. Las decisiones gubernamentales (políticas, regulaciones e impuestos) ejercen una influencia significativa en la CS, obligando a las empresas a adoptar tecnologías y a adaptar sus modelos para asegurar su supervivencia y prosperidad. Estas políticas y regulaciones gubernamentales se comportan como un factor externo de cambio constante que demanda una adaptación continua debido a las actualizaciones de las políticas internas de cada país y a los cambios o diferencias demasiado marcadas que existen entre los diferentes países donde operan los actores de las CS.

Las TD como Habilitadores de la CS 4.0

Integración Colaborativa y Gestión de Redes. A nivel global, el internet y la computación en la nube se han convertido en la infraestructura base de los sistemas ciberfísicos. Su aplicación permite ajustar rápidamente la capacidad informática, facilitando la gestión integral de las redes de suministro y garantizando una visibilidad de inventarios y un seguimiento instantáneo de las operaciones. Los grandes operadores utilizan plataformas en la nube para integrar múltiples interfaces y procesar el flujo global de información. El reto de dicha integración es la fuerte dependencia de proveedores tecnológicos para el manejo de la ciberseguridad y la protección de datos corporativos sensibles.

Optimización Predictiva y Anticipación de la Demanda. La IA y el Machine Learning se aplican globalmente para analizar grandes volúmenes de datos tiempo real, lo que permite predecir fluctuaciones del mercado, prevenir la falta de existencias y optimizar los niveles de inventario de forma dinámica. Empresas líderes mundiales ya utilizan modelos predictivos, como el envío anticipado, para balancear inventarios y acercar el producto a centros de distribución cercanos al consumidor incluso antes de que se ejecute la orden de compra. Además, la IA se utiliza para encontrar rutas de transporte más eficientes y habilitar el mantenimiento predictivo de los equipos logísticos. Los retos para su implementación global radican en la necesidad de contar con datos de calidad superior, la escasez de talento humano especializado en ciencia de datos y las implicaciones éticas derivadas de las decisiones autónomas.

Monitoreo en Tiempo Real y Control de la Cadena de Frío. El IoT ha transformado la gestión de almacenes y el monitoreo logístico al generar datos instantáneos sobre la ubicación exacta y las condiciones físicas de los productos, equipos y envíos.

En la práctica, los sensores instalados en contenedores o embalajes transmiten parámetros críticos en tiempo real, garantizando, por ejemplo, que no se rompa la cadena de frío a lo largo de toda la distribución y favoreciendo el control de calidad. Esta visibilidad permite a las organizaciones reaccionar oportunamente ante cualquier imprevisto operativo. No obstante, su escalabilidad global enfrenta barreras debido al costo elevado de instalación y mantenimiento de los dispositivos, sumado al riesgo oculto de ciberataques contra la infraestructura física conectada.

Trazabilidad Inmutable y Mitigación de Fraude. En lugar de depender de bases de datos centralizadas, la tecnología Blockchain se implementa para registrar de forma segura, inmutable y compartida cada transacción y movimiento físico de los productos a lo largo de la red. Su naturaleza descentralizada y criptográfica reduce drásticamente el riesgo de fraude, elimina intermediarios y garantiza una trazabilidad total. Sin embargo, la adopción de esta disrupción aún lidia con limitaciones técnicas en el volumen de transacciones procesables, la ausencia de estándares o regulaciones uniformes en muchos sectores industriales y la necesidad de inversiones de capital muy significativas.

Descentralización Productiva y Fabricación Bajo Demanda. La fabricación aditiva 3DP está impulsando un cambio disruptivo en las operaciones logísticas al permitir la elaboración de productos estrictamente bajo demanda y en ubicaciones cercanas al punto de entrega final. Esta aplicación reduce radicalmente los costos asociados al almacenamiento de inventarios y minimiza los desperdicios. Sin embargo, en la hoja de ruta para América Latina elaborada por (Calatayud y Katz, 2019) los autores advierten que, a pesar de su potencial, la alta inversión inicial en impresoras y materiales especializados limita su viabilidad para la producción masiva de grandes volúmenes comerciales en la actualidad.

Transformación de la Última Milla. Los vehículos autónomos y aéreos no tripulados se utilizan para optimizar las rutas de entrega, aumentar la eficiencia en el consumo de combustible y alcanzar localizaciones geográficas de difícil acceso, como el uso de drones para entregas ultrarrápidas que están redefiniendo la logística de última milla para abatir los altos costos operativos de esta fase.

Los principales retos globales que frenan su masificación inmediata incluyen los riesgos asociados a la seguridad vial y aérea, la urgencia de adaptar la infraestructura física de las

ciudades y, muy especialmente, la creación de marcos regulatorios estrictos para el uso del espacio aéreo comercial.

Sin embargo, esta transformación plantea un cambio de paradigma, dado que la adopción de las TD en la CS no debe medirse solo por rentabilidad económica. Como lo expresan Vinajera-Zamora et al (2020), se debe evaluar el desempeño de la CS sostenible mediante un índice integral (p. 325). En este contexto, existe una necesidad urgente de evaluar el desempeño bajo un índice integral que incluya criterios como; valor agregado, rentabilidad, productividad, ecoeficiencia y servicio al cliente.

Las organizaciones deben considerar que las actividades relacionadas con la última milla después del COVID -19 se incrementaron de forma exponencial. Para optimizar la logística de última milla, Viu y Castillo (2022) sostienen que es fundamental migrar del modelo de entrega domiciliaria hacia alternativas sostenibles. Esto incluye el uso de taquillas y centros urbanos de consolidación, la electrificación de flotas y el aprovechamiento del transporte público o nocturno. Finalmente, la integración tecnológica y el análisis de datos resultan vitales para coordinar rutas eficientes y fomentar la colaboración logística (p. 6).

Contraste del Impacto Teórico de las Tecnologías Disruptivas en la Cadena de Suministro en la Región Caribe

En el presente capítulo se exponen los hallazgos obtenidos tras la aplicación rigurosa de la revisión sistemática de literatura y el procesamiento de la información, para presentar de manera estructurada, objetiva y descriptiva la evidencia extraída de la revisión documental, estableciendo la base empírica sobre la que se construirá la interpretación crítica de esta discusión.

La Brecha del Contexto Local

Un estudio realizado por Niebles-Núñez et al. (2022) en empresas de Barranquilla, Colombia: reveló aunque existe un conocimiento de la gestión tecnológica, solo una minoría de las empresas logra alinearla de forma integral con el ciclo logístico y la dirección estratégica (pp. 173-174). Este hallazgo cualitativo es crucial, pues sugiere que la tecnología a menudo se implementa de manera táctica, como el uso básico de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), en lugar de ser un habilitador estratégico y disruptivo que cumpla con los estándares de integración y colaboración descritos.

El análisis de esta monografía permitió confirmar la existencia de una digitalización a dos velocidades. Mientras las grandes empresas avanzan en la integración tecnológica, el tejido empresarial base permanece rezagado. Según Calatayud y Katz (2019), las cifras son contundentes: a nivel nacional solo el 9.9% de las pymes han adoptado tecnologías avanzadas como el IoT, frente al 17.7% de las grandes empresas (p. 56). Esta brecha digital impide la trazabilidad de extremo a extremo, ya que los actores más pequeños de la cadena no poseen la capacidad tecnológica para integrarse con los ecosistemas digitales de los grandes generadores de carga.

La siguiente figura posiciona estratégicamente esta digitalización a dos velocidades, confrontando la exigencia global de la Industria 4.0 con la madurez operativa local del Caribe, mediante el uso de una matriz Boston Consulting Group (BCG) que identifica la brecha de implementación como el cuadrante de mayor atención estratégica, albergando los retos estructurales que se detallan a continuación.

Figura 3.

Desempeño Logístico Sostenible.



Nota. Ilustración del posicionamiento estratégico logístico, evidenciando visualmente el nivel de riesgo y prioridad de inversión en la CS del Caribe Colombiano.

Barreras de Implementación

Estas presiones internacionales chocan de frente con las barreras microeconómicas y operativas de la región Caribe y del interior del país. Por un lado, el sistema de transporte terrestre, vital para conectar los nodos portuarios como Cartagena con el mercado nacional, está altamente fragmentado y posee una flota con una alta edad promedio. Según la encuesta nacional logística de 2018, referenciada por Calatayud y Katz (2019), el 64,4 de los operadores no utilizaba ningún tipo de tecnología, el 61% de las empresas contaban con un solo camión y la edad media del parque automotor era de 21 años (p. 119). Esta realidad limita la capacidad de integrar sistemas avanzados de trazabilidad y visibilidad ofrecidos por el IoT y Big Data.

Por otro lado, la base empresarial, conformada mayoritariamente por pymes, enfrenta un profundo rezago tecnológico. Estudios realizados en el Caribe colombiano demuestran que las medianas empresas no logran articular la gestión de las tecnologías de la información con su dirección estratégica, utilizándolas de manera aislada. Así, el intento de dar un salto hacia las TD como el Blockchain o la IA se topa con barreras estructurales como: altos costos de implementación y una marcada resistencia cultural al cambio. En esta línea, Aranda et al., 2024 sugieren que factores como el alto costo, la ausencia de regulación, el desconocimiento técnico y la incertidumbre financiera impiden que las empresas logísticas colombianas integren masivamente la tecnología Blockchain es sus CS (p. 6). Además, el déficit de capital humano en habilidades tecnologías emergentes actúa como un freno para la transformación.

Al contrastar el imperativo teórico con la realidad operativa de Colombia, se evidencia una adopción críticamente baja de estas tecnologías. Según los indicadores del Observatorio de la Economía Digital (2017), referenciados por Calatayud y Katz (2019), la implementación de 3DP en las grandes empresas del país apenas alcanza un 6.3%, mientras que en el tejido de las

pymes, que conforma la mayoría de la red logística del Caribe, la cifra desciende al 3.0%. Esta disparidad confirma que, aunque la tecnología es un requisito de competitividad global, su integración en el entorno local se enfrenta a barreras de costo y falta de talento especializado que frenan la transición hacia la Logística 4.0.

Madurez digital asimétrica

El contraste entre las exigencias del comercio mundial y las limitaciones del entorno local genera lo que en este estudio se define como una madurez digital asimétrica. En la región Caribe coexisten infraestructuras portuarias de clase mundial con procesos altamente modernizados, frente a un sistema de transporte terrestre deficiente y una red de proveedores incapaz de integrarse digitalmente. Para cerrar esta brecha, intentar una automatización masiva e intensiva en capital resulta financieramente inviable para el tejido empresarial local. La implementación de TD en el ecosistema logístico colombiano se enfrenta a retos estructurales y de gestión que moderan el optimismo.

Contraste del Estado Actual en Colombia frente a las Tendencias Globales

El entorno macroeconómico internacional exige que las CS sean eficientes y altamente resilientes, trazables y sostenibles. Desde la perspectiva global, la OCDE advierte sobre la necesidad imperativa de una transición hacia cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el año 2050, señalando además que la deficiente calidad de la infraestructura de transporte en países en desarrollo limita drásticamente la productividad y la integración regional. Al contrastar la realidad local con las métricas internacionales, se evidencia una brecha estructural que limita severamente la competitividad del país. Como se mencionó en la sección del contexto regional, Colombia ha sufrido un retroceso en el escenario global, cayendo del puesto 58 en 2018 al puesto 66 en 2023. Este declive se explica en gran medida por los bajos puntajes en

componentes críticos como el seguimiento y localización (trazabilidad) y la eficiencia en aduanas.

La gravedad de este rezago es confirmada por la OCDE, la cual advierte que en Colombia se requieren diez veces más horas para cumplir con los requisitos documentarios de comercio exterior que en el país promedio de esa organización. Además, las deficiencias en la infraestructura física agravan este panorama, si bien a nivel macroeconómico los costos logísticos rondan el 15% del costo por unidad producida y el 18% del valor total de los envíos (expuesto en el planteamiento del problema), a esto se suma que Colombia presenta la mayor brecha de conectividad digital urbano-rural de la OCDE, lo que representa una barrera directa para la transmisión de datos. Este panorama contrasta drásticamente con las tendencias globales de la CS 4.0, donde la visibilidad en tiempo real, la interoperabilidad y la eficiencia operacional no son valores agregados, sino el estándar básico de competencia.

Los hallazgos de esta investigación evidencian la madurez digital asimétrica contrastada con un rezago crítico en la logística de última milla y en la integración de pymes.

Criterios Analíticos de Competitividad Global

La integración operativa de las TD en la CS genera un impacto positivo o negativo dependiendo de las características propias del sector, la industria, la localización geográfica y las capacidades logísticas transformando así la CS. Sin embargo, para evaluar esta transformación de manera objetiva, se requiere un marco analítico estructurado aplicable a cualquier organización. Partiendo de la premisa de Maravi et al. (2023), que consideran que la adopción de las TD es una necesidad básica para poder competir a nivel mundial en un mundo cada vez más digital (p. 95). A continuación se establecen los criterios de evaluación.

Trazabilidad y Visibilidad

Se define como la capacidad de la CS para garantizar el seguimiento del producto y la transparencia de la información a lo largo de toda la red. Este criterio evalúa cómo las TD resuelven la falta de visibilidad de los flujos logísticos, un factor fundamental para entornos de alta complejidad como los ejes portuarios.

Gestión del Riesgo y Resiliencia

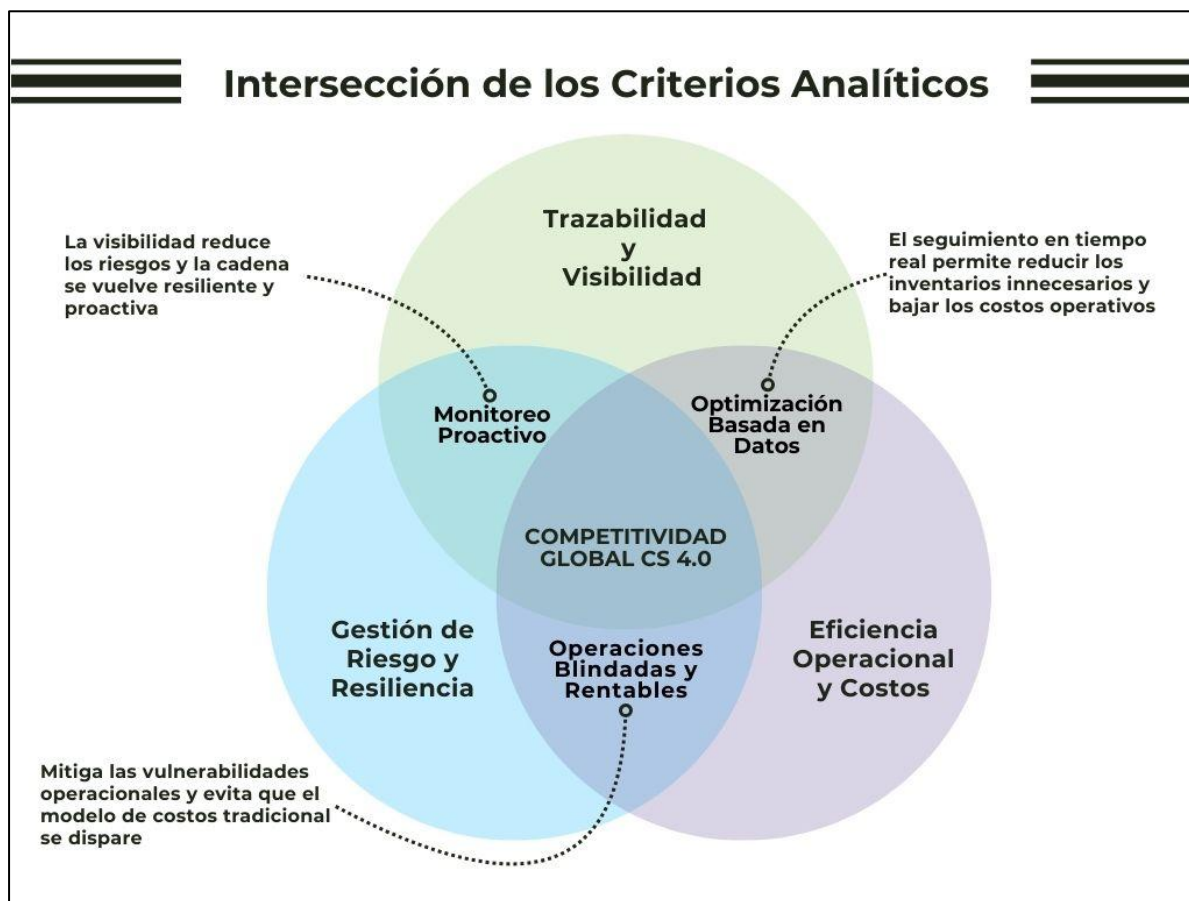
Constituye el parámetro para medir la mitigación de vulnerabilidades operacionales y estratégicas. Este criterio sirve para identificar en qué medida la implementación tecnológica permite a la CS absorber impactos y transitar de una postura reactiva a una gestión de riesgos preventiva.

Eficiencia Operacional y Costos

Evalúa el contraste entre el modelo de costos tradicional y la optimización de procesos derivada de la Cadena 4.0. Busca evidenciar el impacto de la automatización y la analítica en la reducción de lead times⁴ y la optimización de inventarios.

La intersección de estos tres criterios (la visibilidad, la resiliencia y la eficiencia) define el nivel óptimo de integración de la CS 4.0. Es precisamente en esta convergencia donde emergen las ventajas competitivas, como se ilustra a continuación.

⁴ El *lead time* o tiempo de ciclo es el periodo total que transcurre desde que se inicia un proceso hasta que se completa la entrega del bien o servicio. La implementación de las TD busca reducir este indicador mediante la eliminación de los cuellos de botella y la optimización de los flujos de información.

Figura 4.*Intersección de los Criterios Analíticos.*

Nota. Ilustración de la intersección de los criterios analíticos (Monitoreo proactivo), (Gestión de riesgo y Resiliencia) y (Optimización basada en datos) para alcanzar la competitividad global de la CS 4.0.

Instrumento de Evaluación

Para asegurar el proceso de análisis cualitativo se diseñó la Matriz de Síntesis y Contraste de Hallazgos (MSCH) como herramienta operativa para organizar, cruzar y contrastar los hallazgos de las fuentes con base en los criterios analíticos ya definidos, con el fin de categorizar y contrastar los principales hallazgos de la literatura respecto a ejes temáticos de la monografía.

Tabla 1*Matriz de Síntesis y Contraste de Hallazgos*

Categoría Analítica	Autor (Año) /Contexto	Aporte Conceptual Clave a la Monografía	Síntesis y Contraste (Base para los Resultados)
Evolución Histórica de la CS	<i>Jiménez y Hernández (2002) /Mexico</i>	Definición de la logística tradicional: enfoque en costo y flujo físico	Establece la base del paradigma que las TD buscan desplazar
Gestión Moderna y Riesgo	<i>Zamudio y Izquierdo (2020) /Latinoamérica</i>	Modelo de gestión de riesgo como elemento diferenciador en la CS moderna.	Sostiene la necesidad de un enfoque más allá del costo: la resiliencia
Imperativo Tecnológico (TD)	<i>Calatayud y Katz (2019) /Latinoamérica</i>	Hoja de ruta para la CS 4.0 (IoT, Big Data) requisito de competitividad	Fundamenta el análisis de las oportunidades
Retos de Adopción (Contexto Local)	<i>Niebles-Núñez et al. (2022) /Barranquilla</i>	Baja alineación estratégica de las TIC en medianas empresas Barreras de costo y talento para la implementación de Blockchain en la logística.	Contraste entre el imperativo teórico y la realidad operativa.
Implementación Específica de las TD	<i>Aranda et al. (2024) /Bogotá</i>	Alta inversión inicial, costo de materiales y la dependencia de conectividad limitan su viabilidad inmediata.	Proporciona evidencia cualitativa de los desafíos específicos
Barreras de Adopción Avanzada (3DP y realidad virtual)	OCDE (2018) y Coyle et al. (2018) /Colombia		Bajísima adopción en pymes colombianas (3DP: 3.0% y realidad virtual 1.3%).

Nota. Instrumento diseñado para organizar, categorizar y contrastar los aportes conceptuales de la literatura revisada.

Esta matriz se articula transversalmente con el modelo de gestión de riesgo de cinco fases (plan, evaluación, análisis, estrategia y compartir) de Zamudio e Izquierdo (2020). Dicho esquema valida cómo las TD superan el enfoque logístico tradicional, actuando como el elemento diferenciador definitivo que permite mitigar vulnerabilidades y garantizar una resiliencia proactiva en la CS.

Síntesis de Hallazgos

El análisis abordado en esta monografía reveló que la CS en Colombia y la región Caribe se encuentra en una etapa de transición crítica, marcada por una profunda brecha entre la conciencia conceptual de la Industria 4.0 y su implementación operativa efectiva. Esta maduración conceptual culmina en el imperativo de la CS 4.0, que exige la adopción de TD como respuesta estratégica de competitividad. La Figura 4 ilustra esta trayectoria conceptual, desde la visión tradicional centrada en el costo hasta el modelo de la CS 4.0.

Figura 5.

Progresión Conceptual de la CS.



Nota. Ilustración de la progresión conceptual desde la logística tradicional centrada en la reducción de costos y el flujo físico a la gestión moderna de sistemas ciberfísicos de la CS 4.0.

Validación Conceptual

La transición hacia la CS 4.0 representada en la Figura 5 exige un cambio en la lógica de evaluación del desempeño. La validación conceptual de este progreso no puede limitarse al ROI financiero, el cual suele castigar la inversión en tecnologías emergentes por sus tiempos de recuperación. En su lugar, se propone la adopción de indicadores híbridos de ecoeficiencia que operen como puentes entre la rentabilidad y la resiliencia. Estos indicadores permitirán que la madurez digital asimétrica detectada en la región se gestione mediante datos que visibilicen el costo oculto de la ineficiencia ambiental y operativa.

Evaluación de Impacto Teórico de la implementación de las Tecnologías Disruptivas en la Cadena de Suministro en la Región Caribe

El núcleo analítico de esta investigación ha contrastado los hallazgos derivados de la revisión sistemática de literatura con los propósitos académicos planteados. A continuación, se presenta la validación de la ruta metodológica.

Matriz de Correspondencia de Objetivos

Para evidenciar el alcance de la investigación, la Tabla 2 vincula de manera explícita cada uno de los objetivos específicos con su hallazgo principal y conclusión o deducción crítica.

Tabla 2

Matriz de Correspondencia entre Objetivos, Hallazgos y Conclusiones

Objetivo Específico	Hallazgo Principal Encontrado	Conclusión
Analizar la evolución histórica de la CS.	La transición de modelos lineales y aislados a ecosistemas ciberfísicos permite hoy la visibilidad total y el flujo de datos en tiempo real.	La historia confirma que la agilidad actual depende de la velocidad física y principalmente de la capacidad de integración digital de los actores.
Identificar las tendencias tecnológicas que impulsan la transformación de la CS.	El Big Data, la IA y el Blockchain optimizan procesos mediante analítica predictiva y reducción de errores operativos.	El impacto real de las TD es la transformación del transporte, pasando de ser un centro de costos a una ventaja competitiva basada en la anticipación.
Evaluar el impacto de las TD en la eficiencia operativa de la CS.	Las barreras críticas son la alta inversión inicial requerida, la escasez de talento humano especializado y la resistencia cultural al cambio.	La tecnología por sí sola no garantiza éxito operativo; se requiere una hoja de ruta de madurez digital que priorice la formación del personal.

Nota. La Matriz de trazabilidad metodológica vincula de manera explícita cada uno de los objetivos específicos de la investigación con sus respectivos hallazgos principales y las conclusiones críticas derivadas.

Las TD como Generadoras de Ventaja Competitiva

La aplicación de los tres criterios analíticos, (Trazabilidad, Resiliencia y Eficiencia Operacional) al diagnóstico del contexto del Caribe colombiano permite identificar áreas de alto impacto donde las TD dejan de ser meras herramientas tácticas para convertirse en fuentes concretas de ventaja competitiva sostenible. A continuación, se describen estas tres dimensiones de valor.

La Trazabilidad como Sello de Confianza

La falta de visibilidad de los flujos logísticos en la región, caracterizada por la dificultad para rastrear envíos en tiempo real, se convierte en una oportunidad clave de diferenciación. La implementación de las TD como el IoT para el monitoreo de la ubicación y condiciones de la carga (ej: cadena de frío) y el Blockchain para registrar transacciones inmutables, transforma esta debilidad en un sello de confianza y calidad para los mercados internacionales. Un exportador de bananos del Caribe, por ejemplo, podría demostrar de forma irrefutable el cumplimiento de estándares de temperatura y procedencia desde la finca hasta el puerto. Ese grado de eficiencia en trazabilidad reduce el riesgo de pérdidas y deterioro de productos, y se traduce directamente en una mejora del componente de seguimiento y localización que aporta a elevar el LPI, mejorando la reputación y el valor percibido de los productos de la región.

La Anticipación como Nuevo Estándar de Resiliencia Proactiva

Frente a un entorno global volátil y a las vulnerabilidades estructurales locales (fragmentación del transporte y fenómenos climáticos, entre otros), la capacidad de anticipar y absorber impactos deja de ser un lujo para convertirse en el núcleo de la ventaja competitiva. Tecnologías como la IA y el Machine Learning permiten analizar grandes volúmenes de datos para predecir desde congestiones en puertos hasta fluctuaciones de demanda. Esto faculta a las

empresas para reconfigurar rutas de forma dinámica y ajustar inventarios con antelación, pasando de una gestión reactiva a una resiliencia proactiva. Una empresa importadora de la región, al utilizar modelos predictivos, podría evitar costosas paradas por desabastecimiento o exceso de stock. En un mundo de disrupciones constantes, la capacidad de garantizar continuidad operativa mediante la anticipación se convierte en un argumento de venta tan potente como el precio o la calidad.

La Eficiencia como Motor de Rentabilidad

El último pilar de la ventaja competitiva reside en atacar directamente los altos costos logísticos que restan rentabilidad a las empresas de la región. Aquí, las TD actúan como motores de optimización basada en datos. El análisis avanzado (Big Data) permite identificar ineficiencias en las rutas de transporte terrestre, optimizando la capacidad de carga y reduciendo los viajes en vacío, que son un lastre para la flota local. De manera complementaria, las plataformas digitales colaborativas pueden agilizar los trámites documentarios entre actores de la cadena (puertos, aduanas y transportistas), reduciendo los días de despacho y los costos por demoras documentadas por la OCDE. Esta optimización integral mejora el margen operativo y genera un impacto positivo en los componentes del LPI relacionados con la eficiencia de los procesos de envío, haciendo a la región más atractiva para la inversión extranjera directa.

En conjunto, la sinergia entre la trazabilidad, la resiliencia y la eficiencia redefine la propuesta de valor de la CS del Caribe, pero requiere de una adopción tecnológica gradual, desarrollo de capacidades humanas y enfoque en redes tanto colaborativas como resilientes. Esta articulación permite una eficiencia de alto nivel, facilitando adaptabilidad a cambios locales y globales.

Desempeño Sostenible de las CS y la necesidad de métricas híbridas

A pesar de que las tendencias tecnológicas impulsan la transformación, aún persisten brechas significativas al evaluar el desempeño de la CS sostenible. De hecho, una revisión de 62 investigaciones reveló que solo el 31% identifica criterios sin proponer métodos de evaluación, mientras que el 36% no presenta contribuciones concretas, esto deja apenas 21 estudios que ofrecen metodologías aplicables (Vinajera-Zamora et al., 2020, p. 327). Esto subraya la urgencia de desarrollar marcos integrales y estandarizados para la medición de la sostenibilidad, con el apoyo de la tecnología.

Un hallazgo transversal de este estudio es la paradoja de la sostenibilidad en la era digital, que aunque las TD optimizan rutas y reducen el consumo de combustible, la infraestructura necesaria para procesar grandes volúmenes de datos genera una huella de carbono creciente. Por lo tanto, se considera que la eficiencia de la Industria 4.0 en Colombia debe ser evaluada mediante métricas híbridas que incluyan tanto el rendimiento financiero como el impacto ambiental, cerrando la brecha metodológica identificada en este trabajo.

Para aplicar estos estándares de clase mundial en el contexto de la región Caribe es necesario reconocer las deficiencias logísticas que enfrenta el territorio. Las organizaciones locales no pueden permitirse adoptar ciegamente la automatización masiva, deben responder a las exigencias de la sostenibilidad y la competitividad con un enfoque de transición progresiva.

Inviabilidad de adopción a corto plazo para la 3DP y AR

Aunque el Marco Conceptual identifica disrupciones avanzadas como la 3DP y la AR, el análisis de la realidad operativa en el Caribe colombiano demuestra que su implementación a corto plazo es inviable para la mayoría del tejido logístico compuesto principalmente por pymes.

La adopción de estas tecnologías en las pymes colombianas es críticamente baja, situándose apenas en un 3.0% para la 3DP y un 1.3% para la AR.

La exclusión de estas herramientas como parte de la solución inmediata en la propuesta estratégica responde a dos factores estructurales.

- Las máquinas, el mantenimiento y los polvos metálicos o polímeros para la 3DP resultan excesivamente costosos frente a los métodos convencionales y no justifican el retorno de inversión en un entorno donde los bajos costos laborales de la región a menudo compiten con los beneficios económicos de la digitalización intensiva.
- la AR requiere sistemas de posicionamiento extremadamente precisos e infraestructura de telecomunicaciones robusta (redes de alta velocidad y conectividad ininterrumpida). Actualmente, la región enfrenta grandes zonas sin cobertura inalámbrica adecuada, lo que limita gravemente la operatividad de estos dispositivos fuera de los grandes centros urbanos o nodos muy específicos.

Para el tejido logístico del Caribe colombiano, la adopción de 3DP a corto plazo es financieramente inviable para la mayoría de las organizaciones debido a que los bajos costos laborales de la región suelen competir con los beneficios de la digitalización intensiva. No obstante, en ecosistemas maduros como el puerto de Cartagena, la 3DP representa una oportunidad estratégica a largo plazo para la fabricación de piezas de recambio en sitio, siguiendo modelos globales como el de la naviera Maersk, lo que evitaría costosos tiempos de inactividad operativa.

Por lo tanto, en esta investigación la 3DP y la AR, quedan condicionadas a que la región consolide primero su infraestructura física, mejore su conectividad de banda ancha y desarrolle el capital humano necesario para soportar estas innovaciones.

Estrategias de Adopción de TD en la Región Caribe

La integración efectiva de las TD reside en la capacidad de alinear la tecnología estratégicamente con procesos específicos para obtener mejoras medibles en visibilidad, resiliencia y eficiencia. Esta alineación comienza con la planeación estratégica que debe equilibrar los costos entre producción, inventario y transporte, para asegurar la satisfacción de los clientes.

El diseño de la CS es una parte esencial de esta planeación estratégica con implicaciones a largo plazo. Es aquí donde las herramientas de modelado (optimización, simulación y heurísticas) son esenciales para explorar configuraciones, balancear costos en conflicto y gestionar restricciones de capacidad, a fin de hacer un análisis regular del diseño.

Entre los aspectos más importantes a considerar en este diseño estratégico está el poder identificar cuáles son las relaciones y el comportamiento de los colaboradores de la red, fabricantes, distribuidores, minoristas y proveedores de servicios logísticos. En esta empresa extendida, la gestión eficiente de materiales, información y capital depende directamente de sistemas robustos y de las tecnologías de la información.

No obstante, la verdadera articulación va más allá de la tecnología y reside en la colaboración entre sus miembros, la gestión eficiente de la información y contar con especialización de procesos, estos procesos son claves para garantizar que se cumplan las necesidades del cliente, rápida y eficientemente.

Esta visión holística se ve obstaculizada por la complejidad de la integración entre sistemas existentes y nuevos, que son desafíos persistentes para definir y estandarizar los indicadores de desempeño entre muchas empresas, un evento que complica aún más la implementación integral.

Integración Holística como Requisito de Éxito

La integración entre la CS y las TD es, por naturaleza, un proceso de transformación holístico, como expone Xu (2024), dicha integración es un aspecto vital para crear CS resilientes, capaces de responder eficientemente a los cambios en el mercado y a perturbaciones provocadas por acontecimientos como el COVID-19 (p. 28). Esta integración requiere una visión que fusione (diseño, planificación y operación) apoyándose en tecnologías avanzadas priorizando la colaboración humana y el intercambio efectivo de información.

Figura 6.

Integración Holística.



Nota. Representación de la integración holística requerida en la Industria 4.0, donde la estrategia de la CS actúa como el núcleo central que articula la tecnología habilitadora, el diseño, el intercambio de información y la cultura organizacional.

Esta visión sistémica demanda que las organizaciones dejen de concebir las herramientas digitales como objetos aislados. Como se ilustra en la Figura 6, la integración holística actúa como un nodo central que debe articular de manera equitativa e inalterable el diseño, la tecnología, la cultura organizacional y el intercambio de información. El éxito de dicha integración no está garantizado al contar con la tecnología más avanzada, es necesario una gestión estratégica eficiente de las organizaciones. Aquellas empresas que logren implementar estas innovaciones en el tejido de su CS optimizarán su desempeño, reducirán costos y construirán una ventaja competitiva que les permitirá posicionarse como referentes del mercado.

Superar los desafíos relacionados con el costo, el talento, la resistencia cultural y la complejidad de la integración exige un compromiso estratégico y una medición continua del desempeño, para aprovechar plenamente los beneficios que ofrecen las TD.

Propuesta de Fortalecimiento

Ante la inviabilidad de integrar disrupciones avanzadas como la 3DP y la AR en el corto plazo, así como la necesidad de una integración holística, queda en evidencia que el tejido logístico del Caribe colombiano debe buscar una ruta distinta hacia la automatización total e intensiva en capital.

Para superar estas barreras estructurales sin comprometer la viabilidad financiera de las pymes, se propone abandonar los enfoques de implementación tecnológica aislada y adoptar un modelo de transición progresiva.

La justificación de este modelo de transición progresiva radica en la realidad estructural del entorno colombiano, caracterizado por una alta fragmentación empresarial y fuertes barreras económicas. Según los datos del sector (presentados en las secciones de barreras de implementación y contraste del estado actual en Colombia frente a tendencias globales) las

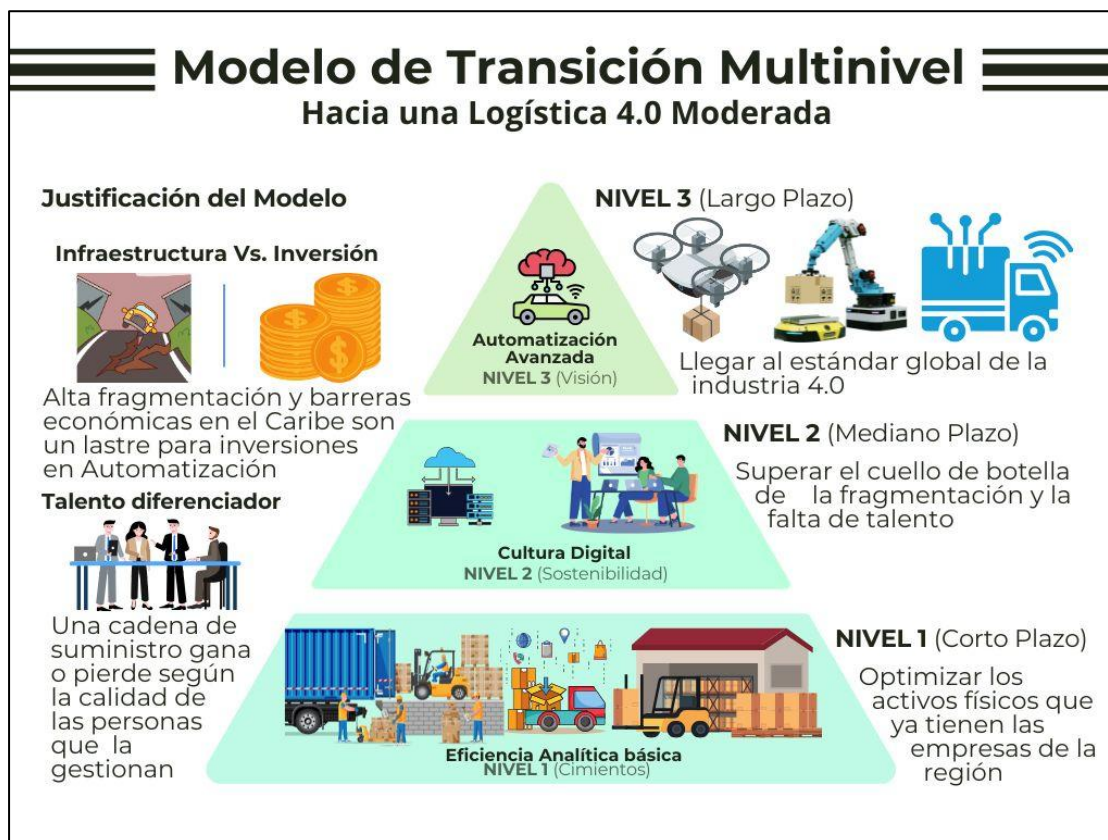
empresas poseen una flota obsoleta, escasa y altamente fragmentada. En este escenario, implementar las TD de última generación en el corto plazo resulta inviable para el tejido empresarial, sobre todo en el caso de las pymes. En respuesta a esta realidad, esta investigación propone la adopción de una Logística 4.0 Moderada.

Modelo de Transición Multinivel

Para superar estas barreras estructurales sin comprometer la viabilidad financiera de las pymes, se plantea un modelo de transición hacia la logística 4.0 moderada que se estructura en tres horizontes de tiempo y adopción. Como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 7.

Modelo de Transición Multinivel.



Nota. Esquema de la propuesta de Logística 4.0 Moderada que prioriza la optimización de activos y la analítica de datos por encima de la automatización masiva para el contexto local.

Este modelo busca transformar los déficits históricos en ventajas competitivas a través de tres horizontes de tiempo y adopción (corto, mediano y largo plazo). En lugar de priorizar la automatización robótica desde el primer día, esta hoja de ruta establece que el éxito de la transformación digital radica en comenzar por la optimización analítica de los activos físicos existentes, continuar con el cierre de la brecha de talento humano y la consolidación de ecosistemas colaborativos, para finalmente, una vez construidos estos cimientos, escalar hacia las herramientas predictivas y autónomas más avanzadas.

A continuación, se detallan los tres niveles estratégicos que componen esta hoja de ruta.

Nivel 1 (Corto Plazo): Eficiencia Analítica Básica

Se propone optimizar los activos físicos que las empresas ya tienen, mientras se implementan soluciones basadas en computación en la nube y aplicaciones móviles para establecer una trazabilidad básica y analítica de datos. Adopción de sensores de bajo costo vinculados al IoT para el monitoreo en tiempo real de la ubicación de vehículos y las condiciones de la carga (como la cadena de frío). Establecimiento de estándares básicos para el intercambio de información electrónica para reducir la intervención manual y los costos administrativos.

La transformación digital requiere iniciar con inversiones de bajo costo y alto impacto, para ganar visibilidad y eficiencia sobre la infraestructura existente.

Nivel 2 (Mediano Plazo): Cultura Digital y Ecosistemas Colaborativos

Se propone superar el cuello de botella de la fragmentación y la falta de talento humano, mediante la inversión prioritaria en la formación del personal y alianzas estratégicas con universidades e instituciones técnicas locales para cerrar la brecha de talento digital, capacitando a los colaboradores en el manejo de datos y plataformas de integración. Además, creación de ecosistemas colaborativos donde los grandes operadores y puertos promuevan la integración de

sus plataformas con los pequeños transportistas de última milla, exigiendo estándares básicos de interoperabilidad y adopción de métricas de desempeño híbridas (ecoficiencia) que evalúen simultáneamente el impacto económico, la resiliencia operativa y la sostenibilidad ambiental.

Nivel 3 (Largo Plazo): Automatización Avanzada

La meta es llegar al estándar global de la Industria, mediante la integración de sistemas ciberfísicos (CPS) y gemelos digitales (Digital Twins) para la simulación de procesos y previsión de mantenimiento. Implementación de IA y Machine Learning para análisis predictivo avanzado, anticipación de la demanda y optimización dinámica de rutas. Despliegue de robótica en almacenes y exploración de vehículos autónomos o drones para garantizar la eficiencia en la distribución de última milla. Integración de tecnología Blockchain para garantizar registros inmutables, trazabilidad total y seguridad.

La rentabilidad de estas inversiones solo será viable si previamente se ha consolidado una infraestructura digital básica, se ha superado la resistencia cultural mediante la capacitación del talento humano y se ha logrado una colaboración interorganizacional efectiva que mitigue la fragmentación logística local.

Proyección a Futuro: Trazabilidad y Resiliencia como Ventaja Competitiva

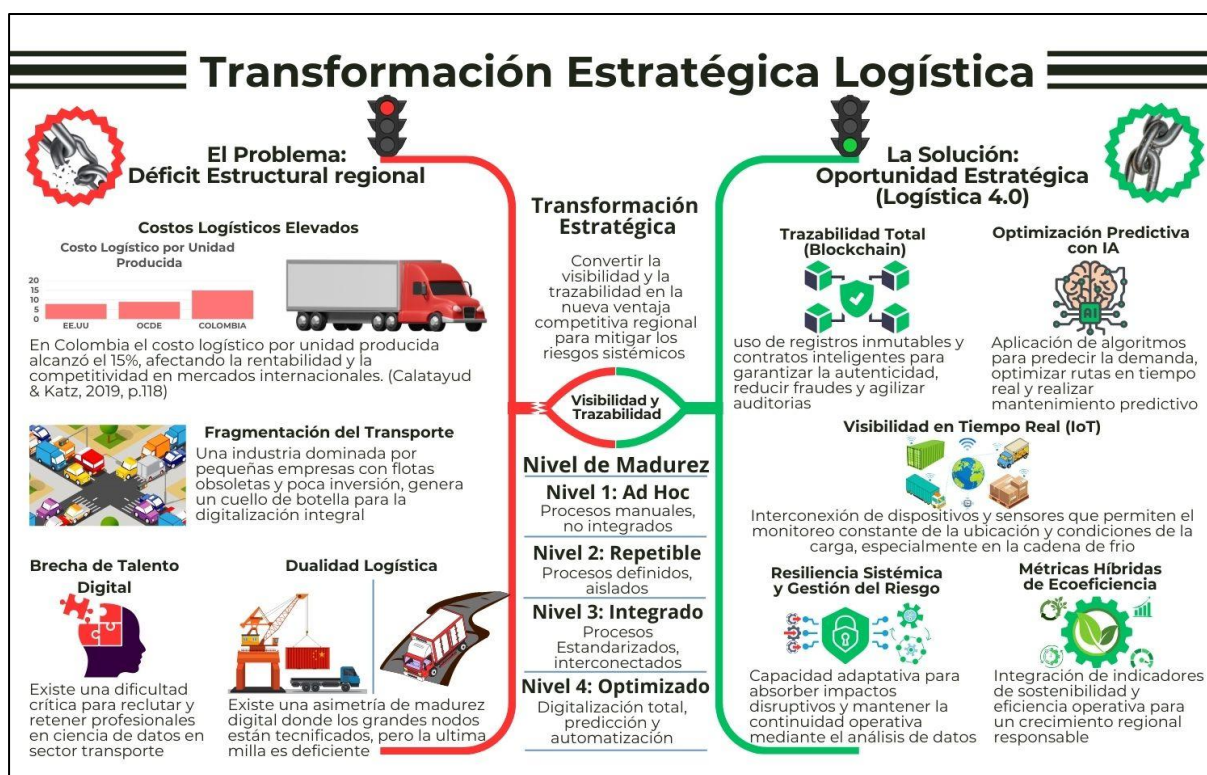
La implementación de un modelo de transición multinivel, como el descrito anteriormente, es el paso fundamental para estabilizar la operatividad actual. Sin embargo, el futuro de la CS en Colombia y el Caribe no está sujeto únicamente en la mejora de la infraestructura física (vial), primero es necesario contar con una sólida infraestructura digital. El reto a mediano plazo es capitalizar las oportunidades que ofrecen la trazabilidad (Blockchain) y la optimización de la planificación (IA) para construir una CS inherentemente más resiliente y

con menor exposición a riesgos, transformando el histórico déficit logístico en una ventaja competitiva sostenible.

Para materializar esta proyección a futuro y superar la madurez digital asimétrica que impera en la región Caribe, se requiere un cambio de paradigma integral, para convertir estos déficits estructurales históricos en oportunidades de trazabilidad total, resiliencia sistémica y optimización predictiva. Esta metamorfosis se sintetiza gráficamente en la siguiente figura.

Figura 8.

Transformación Estratégica Logística.



Nota. Síntesis de la imperativa necesidad de una transformación estratégica que permita transitar desde los déficits logísticos estructurales documentados hacia la consolidación de la resiliencia y la trazabilidad como nuevas ventajas competitivas de la región.

Conclusiones

El análisis desarrollado en esta monografía evidencia que la gestión de la CS ha experimentado un tránsito conceptual exitoso a nivel global, evolucionando de un enfoque centrado netamente en la reducción de costos y el flujo físico, hacia la necesidad imperativa de construir ecosistemas ciberfísicos integrados. Sin embargo, al evaluar las implicaciones de la implementación de TD en el contexto de Colombia, se concluye que existe una ejecución operacional incompleta.

Interconexión Digital de la CS en la región Caribe

La principal barrera identificada en esta investigación es la profunda madurez digital asimétrica que impera en la región. En el ecosistema local coexisten infraestructuras portuarias de clase mundial con procesos altamente modernizados (como el puerto de Cartagena), junto a un sistema de transporte terrestre fragmentado y una base de pymes con un bajo índice de digitalización. Esta disparidad genera graves fricciones en la eficiencia de la última milla y en el flujo logístico intermodal, elevando los costos operativos de la logística nacional.

Para superar esta brecha, se concluye que la CS debe abandonar su rol puramente táctico (procesos aislados) para asumir uno estratégico (interconexión digital), para lograr esta transformación, las empresas deberán fortalecer las habilidades digitales de sus colaboradores.

La capacidad del Caribe colombiano para consolidarse como el gran nodo logístico del continente dependerá de una inversión en el desarrollo de habilidades gerenciales y competencias laborales que permitan la integración de datos a través de plataformas habilitadas por TD para que la infraestructura física agregue el valor deseado.

Transformación Estratégica: Sincronización para el Tejido Pyme

A partir del contraste entre el estado actual y las exigencias de la Industria 4.0, se deduce que dirigir sus esfuerzos hacia la automatización total resulta inviable debido a los altos costos y la fragmentación del sector. Por ello, la viabilidad de esta transformación radica en la implementación de una Logística 4.0 Moderada, una ruta que priorice la optimización de los activos existentes y la analítica de datos por encima de la automatización masiva.

Esta estrategia es vital para las pymes del Caribe colombiano, considerando los retos estructurales detectados:

- **Déficit de Flota:** El 61% de las empresas de transporte terrestre opera con un solo camión.
- **Obsolescencia:** La edad media del parque automotor es de 21 años, lo que dificulta la integración tecnológica inmediata.
- **Sobrecosto Estructural:** El costo logístico por unidad producida en Colombia alcanza el 15%, frente al 9% de los países de la OCDE.
- **Brecha Digital:** La adopción de tecnologías avanzadas en pymes apenas ronda el 3%, lo que confirma que el modelo multinivel es el único camino financieramente sostenible.

En definitiva, al enfocar el modelo en la eficiencia analítica básica (Nivel 1), las pymes pueden transformar estos déficits en ventajas competitivas sin comprometer su liquidez.

Esta sincronización permite que el tejido empresarial local deje de ser un eslabón rezagado y se integre de forma efectiva a los estándares del comercio global.

Resiliencia Sistémica como Ventaja Competitiva para las Pymes

Una vez establecida la viabilidad de la Logística 4.0 Moderada como el modelo de transición idóneo para el tejido pyme, surge la necesidad de trascender la optimización técnica

para abordar la sostenibilidad del modelo a largo plazo. No basta con adoptar herramientas, es preciso entender cómo estas herramientas redefinen el valor estratégico de la organización en un entorno volátil.

Las ineficiencias estructurales que han caracterizado históricamente a la región Caribe y Colombia, previamente analizadas como barreras de entrada dejan de ser un lastre insalvable bajo este nuevo paradigma. Al integrar estratégicamente la IA, el IoT y el Blockchain, la empresa busca reducir costos, pero, siguiendo la tesis de Porter, reconfigura su cadena de valor para generar una distinción basada en la resiliencia y la visibilidad total.

En este contexto, la capacidad de anticipación y la respuesta ágil ante disrupciones se consolidan como la nueva ventaja competitiva sostenible. Además, la validación de la resiliencia y la visibilidad como los nuevos pilares de la competitividad en el Caribe colombiano marca el final del análisis estratégico. Sin embargo, para que esta ventaja sea alcanzable por las pymes locales, es necesario traducir la teoría en acciones concretas.

En consecuencia, se establece una distinción necesaria entre la urgencia operativa y la vigilancia tecnológica. Si bien las tecnologías 3DP y AR quedan fuera del horizonte de inversión a corto plazo del modelo de Logística 4.0 Moderada propuesto, debido a que su bajísima adopción actual y sus altos costos de implementación no se alinean con la liquidez del tejido pyme local, su monitoreo constante es vital para la planificación estratégica a largo plazo de las redes globales de valor. La región Caribe no debe ignorar estas tendencias, por el contrario, debe preparar el terreno mediante estudios que determinen el momento de madurez de la infraestructura y del capital humano que permitan que estas innovaciones dejen de ser objetos de ficción para convertirse en realidades operativas.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos y conclusiones de la presente investigación, y con el objetivo de posibilitar la transición hacia la Logística 4.0 Moderada, se formulan las siguientes recomendaciones de acción directa.

Para el Sector Empresarial y Transporte Terrestre (Pymes)

- Priorizar la digitalización de activos existentes sobre la adquisición de nueva infraestructura física, iniciando con la adopción de soluciones SaaS (Software como Servicio) y computación en la nube para estabilizar el flujo de datos.
- Evitar inversiones intensivas en capital (como robótica avanzada o vehículos autónomos) en etapas tempranas, ya que la fragmentación del sector y la antigüedad de la flota comprometen la viabilidad financiera de estos saltos tecnológicos.
- Implementar sensores IoT de bajo costo para el monitoreo en tiempo real de la cadena de frío y la ubicación de la carga, permitiendo que la visibilidad de los activos actuales sea el cimiento para futuras herramientas predictivas.

Para la Academia e Instituciones de Formación

- Actualizar los currículos de ingeniería y logística mediante alianzas con el sector productivo, integrando certificaciones de formación complementaria en análisis de datos, ciberseguridad y gestión de sistemas ciberfísicos.
- Diseñar programas de capacitación continua para el personal operativo actual, enfocándose en superar la resistencia cultural y desarrollar una mentalidad ágil que facilite la adopción de nuevas tecnologías en el día a día.

Para Operadores Portuarios y Grandes Generadores de Carga

- Asumir el rol de tractores tecnológicos mediante la exigencia y facilitación de estándares mínimos de interoperabilidad a sus pequeños proveedores de transporte.
- Fomentar plataformas de datos compartidas que integren a los transportistas de última milla, permitiendo una visibilidad de extremo a extremo que reduzca los tiempos de despacho y eleve el LPI de la región.

Para Gerencias y Niveles Directivos

- Sustituir el ROI financiero tradicional por un modelo de evaluación basado en métricas híbridas, que pondere el retorno económico junto con la capacidad de resiliencia ante riesgos sistémicos y la reducción de la huella de carbono.
- Formalizar una hoja de ruta de madurez digital que no sea estática, realizando análisis regulares del diseño de la CS para balancear costos, capacidad y sostenibilidad ambiental.

Instrumentos de Medición 4.0 (Propuesta de Contenido)

Para materializar la transición hacia la Logística 4.0 Moderada, la gerencia debe adoptar herramientas que midan el valor real de la visibilidad y la capacidad de respuesta, más allá del ahorro inmediato. Se proponen los siguientes instrumentos de medición⁵.

Indicador de Intensidad de Carbono por Valor (ICUV)

Este indicador diseñado para el nivel 1 (corto plazo) permite auditar la eficiencia energética de la flota terrestre (cuya edad promedio es de 21 años) al relacionar las emisiones de CO₂ con el costo logístico total. Un ICUV alto indicará que la obsolescencia física está

⁵ Indicadores seleccionados para mitigar los déficits estructurales del Caribe. El ICUV audita la obsolescencia de flota (21 años), el IVO cierra la brecha de madurez digital sin inversiones intensivas, y la Tasa de Resiliencia ante Disrupciones transforma la vulnerabilidad en una ventaja competitiva sostenible.

erosionando la rentabilidad de las pymes. La expresión matemática para su cálculo es la

$$\text{siguiente: } ICUV = \frac{\text{Emisiones } CO_2}{\text{Costo Logístico Total}}$$

Índice de Visibilidad Operativa (IVO)

Este indicador diseñado para el Nivel 1 (corto plazo) mide el porcentaje de despachos monitoreados mediante soluciones de bajo costo (Cloud/App móvil). Su objetivo será elevar el sello de confianza del transporte de última milla sin requerir automatización avanzada. La

$$\text{expresión matemática para su cálculo es la siguiente: } IVO = \frac{\text{Despachos Monitoreados}}{\text{Total Despachos}}$$

Tasa de Resiliencia ante Disrupciones

Este indicador diseñado para los niveles 2 y 3 (mediano/largo plazo) evalúa la eficacia de la resiliencia proactiva comparando el tiempo de entrega en condiciones de crisis (bloques o fallas climáticas) frente al estándar. Una tasa de resiliencia ante disrupciones estable demostrará que el análisis de datos está permitiendo una gestión de riesgos efectiva. La expresión

$$\text{matemática para su cálculo es la siguiente: } TRD = \frac{\text{Tiempo de Entrega en Crisis}}{\text{Tiempo Estándar}}$$

Tasa de Adopción de Competencias 4.0

Este indicador diseñado para el nivel 2 (mediano plazo) evalúa el cierre de la brecha de talento digital en la organización. Elevar este porcentaje mitigará la resistencia cultural al cambio revelando que se cuenta personas capaces para lograr una ventaja competitiva sostenible. La

$$\text{expresión matemática para su cálculo es la siguiente: } TAC = \frac{\text{Personal Capacitado en TD}}{\text{Plantilla Operativa}}$$

La implementación de estos indicadores híbridos permitiría trascender el enfoque tradicional y monitorear su progreso hacia la Logística 4.0 Moderada, para que cada inversión tecnológica se traduzca en una ventaja competitiva resiliente y sostenible en el tiempo.

Futuras Líneas de Investigación

Dada la naturaleza dinámica y la vasta amplitud de la gestión de la cadena de suministro, esta monografía se ha centrado en establecer las bases estratégicas para la región mediante el modelo de transición multinivel. No obstante, la complejidad del ecosistema logístico 4.0 abre horizontes que permiten complementar y expandir los hallazgos aquí presentados a través de las siguientes líneas de investigación (sugeridas).

Estandarización de Marcos para la CS Sostenible

Ante el hallazgo de que solo una minoría de los estudios actuales proponen métodos de evaluación concretos, se propone como línea prioritaria el desarrollo de metodologías estandarizadas que permitan medir el desempeño de la sostenibilidad apoyadas en herramientas digitales.

Validación del Modelo Multinivel en Diversos Contextos

Una línea de expansión natural consiste en validar la eficacia del modelo multinivel propuesto en este trabajo, en otros nodos logísticos de Colombia con características estructurales similares a las del Caribe.

Desarrollo de Métricas Híbridas de Ecoeficiencia

Se requiere profundizar en indicadores que resuelvan la paradoja de la digitalización, equilibrando la optimización de rutas con el impacto ambiental de la infraestructura necesaria para procesar grandes volúmenes de datos.

Trazabilidad Especializada en Cadenas de Valor Regionales

Complementar este estudio con análisis técnicos sobre la implementación de Blockchain e IoT en productos agrícolas específicos del Caribe, facilitando su certificación y confianza en mercados de exportación.

Vigilancia Tecnológica y Prospectiva de la 3DP Y AR en el Caribe

Dada la inviabilidad financiera de estas tecnologías para el tejido pyme en el corto plazo, se propone como línea de investigación prioritaria la creación de un observatorio de vigilancia tecnológica. Este enfoque debe centrarse en.

- Determinar los umbrales de costo y madurez de infraestructura (conectividad y energía) que permitan la transición de estas herramientas desde una visión a largo plazo hacia una fase de implementación operativa.
- Evaluar el impacto de la 3DP específicamente en la reducción de lead times para piezas de recambio críticas en nodos de alta madurez como el puerto de Cartagena.
- Analizar cómo la AR podría integrarse en el Nivel 2 del modelo propuesto (Cultura Digital) para acelerar la capacitación de operarios en procesos complejos de almacén.

Referencias Bibliográficas

- Aranda, L., Contreras, I., y Daza, D. (2024). *Implementación de Blockchain en la Cadena de Suministro: Retos y Oportunidades para las Empresas de Logística en Colombia*.
<http://hdl.handle.net/10882/13971>
- Asociación Nacional de Comercio Exterior [Analdex]. (2023). *Informe del Índice de Desempeño Logístico (LPI) 2023 Banco Mundial*. Dirección de Asuntos Económicos.
<https://www.analdex.org/wp-content/uploads/2023/04/Informe-del-Indice-de-Desempeno-Logistico-2023-LPI-Banco-Mundial-1.pdf>
- Blanchard, D. (2010). *Supply chain management: Best practices* (2.ª ed.). John Wiley y Sons.
<https://rudycr.com/supchn/Supply%20Chain%20Management%20Best%20Practices,%202E%20by%20David%20Blanchard-2010.pdf>
- Bowersox, D., Closs, D., y Cooper, M. (2007). *Administración y logística en la Cadena de Suministro* (2a ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores.
https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25775w/L1LT123_S1_01.pdf
- Budet, X y Pérez, A. (2018). Innovaciones tecnológicas en la Cadena de Suministro aplicadas al eCommerce. *Oikonomics*.
https://oikonomics.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/09/4_Budet-Perez2_Oikonomics_9_A4_cast.pdf
- Calatayud, A., y Katz, R. (2019). *Cadena de Suministro 4.0: Mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo.
<http://dx.doi.org/10.18235/0001956>
- Christensen, C. (1997). *El dilema del innovador*. Harvard Business School Press.
[https://rudycr.com/InovBis/The%20Innovator%E2%80%99s%20Dilemma%20\(Clayton](https://rudycr.com/InovBis/The%20Innovator%E2%80%99s%20Dilemma%20(Clayton)

%20M.%20Christensen)2000.pdf

- Coyle, J., Langley, C., Gibson, B., Novack, R., y Bardi, E. (2018). *Administración de la Cadena de Suministro: Una perspectiva logística*. Cengage Learning.
https://www.academia.edu/84552541/Administraci%C3%B3n_de_la_cadena_de_suministro_10ma_Edici%C3%B3n_John_J_Coyle_2017_
- Cruz, O., y Bustamante-Delgadillo, J. (2022). Evolución de las Cadenas de Suministro para el comercio electrónico y una última milla sustentable. *Gestión I+D*, 8(1), 78–107.
https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_GID/article/view/25177/144814491461
- Del Castillo, S. (2023). *Logística 4.0: Innovación y eficiencia en la Cadena de Suministro*. Primera edición. Doxa edition. https://itq.edu.ec/wp-content/uploads/2023/10/2023-09-29_logistica_4.0_innovacion_y_eficiencia_en_la_cadena_de_suministro.pdf
- González, J., Rodríguez, K., Figueroa, W., Pinzón, B., Gómez, J., Díaz, J., y Vásquez, O. (2022). *Índice de desempeño logístico, industria 4.0 y madurez de las redes globales de valor: Un análisis multicriterio en el contexto colombiano*. Sello Editorial UNAD. <https://doi.org/10.22490/9789586518840>
- Hernández, E. (2018). La cadena de suministro y las tecnologías disruptivas. En A. Tundidor (Coord.), *Cadena de suministro 4.0. Beneficios y retos de las tecnologías disruptivas* (pp. 17-36). Marge Books. <https://pdfcoffee.com/cadena-de-suministro-40pdf-2-pdf-free.html>
- Jacobs, F., y Chase, R. (2019). *Administración de operaciones: Producción y Cadena de Suministro* (15a ed.). McGraw-Hill Education. <https://ucreanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-Operaciones-Produccion-y-Cadena-de-Suministro-13edi-Chase.pdf>
- Jiménez, J., y Hernández, S. (2002). *Marco conceptual de la Cadena de Suministro. Un nuevo*

- enfoque logístico* (Publicación Técnica No. 215). Instituto Mexicano del Transporte.
<https://elmayorportaldegerencia.com/Documentos/Cadena%20Suministros/%5BPD%5D%20Documentos%20-%20Un%20nuevo%20enfoque%20logistico.pdf>
- Maravi, A., Zevallos, A., y Palomino, K. (2023). *Gestión de la Cadena de Suministro: Enfoques y perspectivas modernas*. Religación Press.
<https://press.religacion.com/index.php/press/catalog/download/102/261/431?inline=1>
- Niebles-Núñez, W., Rojas-Martínez, C., Pacheco-Ruiz, C., y Hernández-Palma, H. (2022). Descripción del manejo de tecnologías información y comunicación en la Cadena de suministro en medianas empresas. *Información Tecnológica*.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000500165>
- OCDE. (2024). *Estudios Económicos de la OCDE: Colombia 2024*. Editorial OCDE.
<https://doi.org/10.1787/7b2e6f4a-es>
- Pérez-Franco, R. (2022). *Replanteando la estrategia de Cadena de Suministro: Una guía breve* (C. Osejo Bucheli, Trad.). Editorial Universidad de Nariño.
<https://sired.udenar.edu.co/8313/1/Replanteando%20la%20estrategia%20de%20cadena%20de%20suministro%20VF2.pdf>
- Porter, M. (1985). *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance: with a new introduction*. The Free Press.
<https://library.uniq.edu.iq/storage/books/file/competitive%20Advantage/166677556024.pdf>
- Servera-Francés, D. (2010). Concepto y evolución de la función logística. *Innovar, Revista de Ciencias Administrativas y Sociales*. <https://www.redalyc.org/pdf/818/81819024018.pdf>
- Vinajera-Zamora, A., Marrero-Delgado, F., y Cespón-Castro, R. (2020). Evaluación del

- desempeño de la Cadena de Suministro sostenible enfocada en procesos. *Estudios Gerenciales*, 36(156), 325-336. <https://www.redalyc.org/journal/212/21265007008/html/>
- Viu Roig, M., y Castillo, C. (2022). Evolución de la logística: pasado, presente y futuro. *Oikonomics*.
https://oikonomics.uoc.edu/divulgacio/oikonomics/_recursos/documents/17/OIKONOMI_CS17_02_viu_ES.pdf
- Xu, Y. (2024). *Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro: Estrategias y Aplicaciones Innovadoras* [Tesis de maestría, Universidad de Barcelona].
<https://diposit.ub.edu/server/api/core/bitstreams/0bafcf77-fc84-46df-a654-784034f6ab16/content>
- Ynzunza-Cortés, C., Izarl-Landeta, J., y Bocarando, J. (2017). El entorno de la industria 4.0 Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- Zamudio, O., y Izquierdo, A. (2020). Modelo de gestión de riesgo de la cadena de suministro como elemento diferenciador. *Review of Global Management*.
<https://doi.org/10.19083/rgm.v6i1.1487>