

**Mensajería y logística de última milla en Colombia: un análisis teórico desde la ciencia de
datos**

Cibeth Cristobal Garrido Toloza

Juan Carlos Lozano Leiva

Asesor

Felipe Alexander Pipicano Guzman

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Especialización en Ciencia de Datos y Analítica

2025

Resumen

La logística de última milla en los servicios de mensajería en Colombia enfrenta presiones derivadas de la congestión urbana, la variabilidad de la demanda y restricciones operativas que impactan costos, puntualidad y experiencia del usuario. Para sustentar decisiones en evidencia, se desarrolla una revisión sistemática de literatura conforme a PRISMA (2009/2020), complementada con una evaluación multicriterio que pondera actualidad, pertinencia temática, claridad metodológica y aplicabilidad práctica de los estudios. El análisis temático identifica tendencias como predicción de ETA (Tiempo Estimado de Llegada) y demanda, optimización de ruteo bajo restricciones y monitoreo en tiempo real, así como brechas como calidad e integración de datos y transferibilidad al contexto local, y oportunidades como enrutamiento dinámico, tableros operativos y mejora continua, relevantes para el sector.

A partir de estos hallazgos, se propone un marco conceptual que integra analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva con enfoques de mejora continua para intervenir en ruteo, programación operativa, trazabilidad y control de costos, guiado por KPIs, costo por envío, reintentos y tiempo de ciclo. Los aportes incluyen: i) una síntesis crítica del estado del arte aplicable a mensajería, ii) un mapa de técnicas y herramientas con potencial de adopción en Colombia, y iii) lineamientos para priorizar casos de uso y evaluar impacto en entornos urbanos complejos.

Palabras clave: última milla; mensajería; optimización de ruteo; ETA; analítica predictiva; mejora continua.

Abstract

Colombia's last-mile logistics in courier services faces mounting pressures from urban congestion, demand variability, and operational constraints that affect costs, on-time performance, and customer experience. To ground decision-making in evidence, a systematic literature review was conducted under PRISMA (2009/2020), complemented by a multi-criteria appraisal that weighs recency, thematic relevance, methodological clarity, and practical applicability. The thematic analysis reveals trends such as ETA and demand prediction, constrained routing optimization, and real-time monitoring, as well as gaps such as data quality and integration and local transferability, and opportunities including dynamic routing, operational dashboards, and continuous-improvement practices relevant to the sector.

Building on these findings, a conceptual framework is proposed that integrates descriptive, predictive, and prescriptive analytics with continuous improvement approaches (Lean, Six Sigma, DMAIC) to intervene in routing, operational scheduling, traceability, and cost control, guided by KPIs including OTIF, cost per shipment, retries, and cycle time. The contributions include: i) a critical synthesis of the state of the art relevant to courier operations, ii) a map of techniques and tools with adoption potential in the Colombian context, and iii) guidelines for use-case prioritization and impact evaluation in complex urban environments.

Keywords: last mile; courier; route optimization; ETA; predictive analytics; continuous improvement.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Descripción del Problema	12
Problema Central.....	12
Sistematización del Problema	12
Delimitación y Alcances	13
Variables de Interés e Indicadores Guía.....	13
Supuestos y Limitaciones.....	13
Justificación	14
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
Marco de Referencia	17
Marco Conceptual	17
Marco Teórico.....	19
Última Milla, Comercio Electrónico y Experiencia del Cliente	20
Logística Urbana y Planificación de la Última Milla.....	21
Modelos de Optimización de Rutas, Costos y Asignación en Mensajería y Paquetería	22
Tecnologías Digitales, Monitoreo y Trazabilidad en la Última Milla	23
Analítica de Datos, Business Intelligence e Inteligencia Artificial Aplicadas a la Última Milla	24
Metodología	26
Diseño del Estudio	26

Fuentes de Información y Estrategia de Búsqueda	26
Revisión Sistemática de Literatura Bajo PRISMA	26
Criterios de Inclusión y Exclusión	27
Criterios de Inclusión	27
Criterios de Exclusión	27
Procedimiento de Selección (Flujo Tipo PRISMA).....	27
Descripción por Etapas del Proceso PRISMA	28
Análisis Temático y de Variables	29
Codificación Temática	29
Identificación de Variables Clave	30
Consistencia Analítica.....	30
Extracción de Información y Campos de la Matriz	31
Evaluación de Calidad y Pertinencia de los Estudios	31
Validez, Confiabilidad y Sesgos Potenciales	33
Consideraciones Éticas.....	33
Limitaciones del Método.....	33
Resultados	35
Resultados del Proceso PRISMA.....	35
Caracterización de los Estudios Incluidos	36
Distribución Temática de los Estudios.....	39
Síntesis Narrativa de Resultados	40
Discusión y Análisis Integrador de los Hallazgos.....	41
Discusión de Hallazgos Frente al Contexto Colombiano	45

Evidencia Sobre Impacto Operativo	46
Conclusión Parcial de Resultados	47
Reflexión Crítica de la Evidencia Revisada.....	47
Discusión y Propuesta del Marco Conceptual	49
Madurez Organizacional y Gestión del Cambio	50
Capacidad Analítica y Gestión de Información	50
Implementación Tecnológica Escalonada	50
Conclusiones	52
Recomendaciones	54
Para las Organizaciones Logísticas y de Mensajería Urbana.....	54
Para Instituciones Educativas y Comunidades Académicas	54
Para Entidades Gubernamentales y Sector Público	55
Recomendación Transversal	55
Referencias.....	57
Apéndices.....	64

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Resumen del Proceso PRISMA</i>	28
Tabla 2 <i>Resumen del Proceso de Selección</i>	35
Tabla 3 <i>Categorías Temáticas</i>	37
Tabla 4 <i>Distribucion de Estudios</i>	40
Tabla 5 <i>Desempeño Comparado de Técnicas</i>	47
Tabla 6 <i>Avance Gradual y Niveles</i>	51

Lista de Figuras

Figura 1 *Diagrama de Flujo PRISMA* 29

Figura 2 *Distribución de los Estudios por Categoría Temática (n = 49)* 39

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Matriz Analítica de los Estudios Incluidos, Parte 1 Información General</i>	64
Apéndice B <i>Matriz Analítica de los Estudios Incluidos, Parte 2 Análisis Técnico y Justificativo</i>	79
Apéndice C <i>Tabla Comparativa Final de los Estudios</i>	124

Introducción

La logística de última milla en servicios de mensajería se ha convertido en un punto de control determinante para la competitividad de las cadenas de suministro urbanas. En el día a día confluyen restricciones de acceso, congestión vial, ventanas de tiempo exigentes y una demanda irregular que presiona simultáneamente costo, puntualidad y experiencia del usuario. En Colombia, la concentración de envíos en grandes ciudades, la heterogeneidad de la infraestructura y la coexistencia de operadores con distintos niveles de madurez tecnológica generan escenarios donde planear, ejecutar y controlar entregas en tiempo real es un desafío operativo persistente.

En este contexto, la disponibilidad de datos transaccionales y telemétricos permite describir comportamientos, anticipar eventos y prescribir decisiones con mayor fundamento. Registros de guía, trazas GPS, tiempos de cargue y descargue, confirmaciones de entrega y metadatos de ruta abren la puerta a técnicas de analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva que pueden mejorar asignación de pedidos, consolidación de paradas y ruteo bajo restricciones. A la par, marcos de mejora continua ofrecen disciplina para estabilizar procesos, reducir variabilidad y sostener resultados a través del tiempo. Pese a ello, persiste una brecha: no existe una síntesis reciente y focalizada en mensajería urbana colombiana que ordene los enfoques disponibles, identifique sus límites de transferibilidad y proponga criterios claros para priorizar casos de uso.

El trabajo que se presenta responde a esa necesidad. Se realiza un análisis sistemático de la literatura especializada y una evaluación comparativa de enfoques de ciencia de datos y gestión operativa aplicables a mensajería de última milla en el entorno urbano colombiano. La discusión se organiza en cuatro ejes que, en la práctica, concentran la mayor parte de las decisiones de campo: optimización de rutas con flota heterogénea y restricciones urbanas,

predicción de demanda y de tiempos estimados de arribo, monitoreo y trazabilidad para control operativo, y gestión de costos con indicadores de eficiencia. Sobre esa base se propone un marco conceptual que articula analítica con prácticas de mejora, orientado por métricas como puntualidad de entrega, costo por envío, reintentos y tiempo de ciclo.

La contribución esperada es doble. Desde lo académico, ofrecer una lectura crítica y actualizada que organice conceptos, técnicas y hallazgos relevantes para el país, señalando tendencias y brechas de conocimiento. Desde lo aplicado, proporcionar lineamientos para seleccionar herramientas, priorizar iniciativas con impacto medible y estructurar evaluaciones que conecten resultados analíticos con decisiones operativas. El objetivo último es apoyar la toma de decisiones basada en evidencia y favorecer operaciones de última milla más eficientes, confiables y centradas en el usuario en el contexto urbano colombiano.

Descripción del Problema

La operación de mensajería en última milla combina alta variabilidad de la demanda con recursos limitados y múltiples restricciones urbanas. En una misma jornada convergen picos de pedidos, ventanas de tiempo estrechas, accesos restringidos, paradas de corta duración y reintentos por ausencia del destinatario. Este entorno genera desbalances entre carga y capacidad, sobrecostos por kilómetros no productivos, incumplimientos de horario y una experiencia del usuario heterogénea. En Colombia, la concentración de envíos en grandes ciudades, la heterogeneidad de la infraestructura y la disparidad en la calidad de los datos operativos amplifican estas fricciones y dificultan la toma de decisiones en ruteo, programación y control.

Problema Central

¿Cómo mejorar la eficiencia de la mensajería de última milla en entornos urbanos colombianos mediante enfoques de ciencia de datos y prácticas de mejora continua, de forma que se reduzcan costos y tiempos de entrega, se incremente el cumplimiento de ventanas de servicio y se mejore la experiencia del usuario?

Sistematización del Problema

¿Qué tendencias y hallazgos reporta la literatura reciente sobre mensajería de última milla con potencial de aplicación en el contexto urbano colombiano?

¿Cuáles son los retos críticos que inciden en ruteo, tiempos y costos y cómo se manifiestan en la operación diaria?

¿Qué técnicas analíticas y herramientas de gestión han mostrado resultados consistentes en predicción de demanda y tiempos de arribo, optimización de ruteo y monitoreo de la operación?

¿Cómo articular estas técnicas con principios de mejora continua para priorizar casos de uso, definir indicadores y evaluar el impacto de las intervenciones?

Delimitación y Alcances

Ámbito urbano en Colombia, con énfasis en mensajería negocio a consumidor y negocio a negocio en ciudades de alta densidad. Se consideran referencias internacionales cuando aporten criterios transferibles. No se aborda implementación tecnológica en campo ni el desarrollo de software; el foco es la síntesis de evidencia, el análisis comparativo y la propuesta de un marco conceptual que oriente decisiones operativas y de inversión.

Variables de Interés e Indicadores Guía

Tiempo de entrega, cumplimiento de ventanas de servicio, costo por envío, distancia y tiempo de ruta, densidad de paradas, frecuencia de reintentos y métricas de experiencia del usuario. Como indicadores de seguimiento se prevén puntualidad de entrega, costo por envío, tiempo de ciclo y tasa de reintentos.

Supuestos y Limitaciones

Se asume disponibilidad mínima de datos operativos para análisis comparativo y que los resultados de la literatura son parcialmente transferibles a entornos urbanos colombianos con ajustes. La principal limitación es la heterogeneidad de fuentes y formatos de datos y la ausencia de experimentación propia en campo en esta fase.

Justificación

La mensajería de última milla en ciudades colombianas opera bajo presiones simultáneas de costo, puntualidad y experiencia del usuario, en un entorno marcado por congestión, restricciones de acceso y demanda variable. Respuestas basadas solo en aumentos de capacidad o más turnos tienden a ofrecer beneficios de corto plazo cuando no se acompañan de analítica de datos y disciplina de mejora continua. La evidencia disponible es abundante pero fragmentada, y su transferibilidad al contexto local no siempre es evidente.

En lo académico, resulta pertinente una síntesis sistemática que organice conceptos, métodos y hallazgos recientes sobre última milla, con énfasis en decisiones operativas de alto impacto. Un trabajo de este tipo aporta un mapa actualizado del campo, identifica tendencias y vacíos de investigación y fortalece competencias propias de una especialización en ciencia de datos y analítica, como lectura crítica, trazabilidad de criterios y comunicación técnica de resultados.

En lo aplicado, los operadores necesitan criterios claros para responder preguntas prácticas: qué variables medir, qué técnicas usar según la calidad y disponibilidad de datos, qué efectos esperar sobre tiempo de entrega, cumplimiento de ventanas y costo por envío, y bajo qué condiciones conviene pilotear soluciones. Un análisis comparativo de enfoques de predicción, optimización y monitoreo, con criterios de adopción y límites de uso, reduce el riesgo de inversiones tecnológicas de bajo retorno y mejora la priorización de casos de uso.

En lo social y económico, mejoras sostenidas en puntualidad, confiabilidad y trazabilidad reducen reintentos y kilómetros no productivos, con efectos positivos sobre la congestión urbana, las emisiones y la percepción del servicio. En mercados densos, pequeñas ganancias operativas

acumuladas se traducen en reducciones significativas de costos y en mejores experiencias para usuarios finales.

En lo institucional y formativo, el proyecto se alinea con los propósitos de la especialización al integrar marcos de ciencia de datos con prácticas de gestión de procesos. El resultado esperado trasciende una revisión narrativa: se propone un marco conceptual aplicable al contexto colombiano, con definiciones operativas, criterios de adopción, indicadores guía y pasos mínimos para evaluar impacto, transferible a cursos, semilleros y proyectos con empresas.

En suma, el aporte central consiste en articular, para el entorno urbano colombiano, cuatro ejes operativos que concentran la mayor parte de las decisiones de campo: optimización de rutas bajo restricciones urbanas, predicción de demanda y de tiempos estimados de arribo, monitoreo y trazabilidad para control operativo, y gestión de costos con indicadores comparables. Esta articulación conecta fuentes de datos, técnicas analíticas y decisiones operativas con métricas de resultado, ofreciendo una base rigurosa para priorizar, pilotear y escalar intervenciones en mensajería de última milla.

Objetivos

Objetivo General

Realizar una revisión sistemática y una síntesis temática de la literatura sobre logística de última milla en servicios de mensajería en contextos urbanos de Colombia, con el fin de caracterizar tendencias, retos y oportunidades e integrar dichos hallazgos en un marco conceptual que combine enfoques de ciencia de datos y mejora continua orientados a la optimización operativa.

Objetivos Específicos

Delimitar y ejecutar una estrategia de búsqueda y selección de literatura académica y técnica sobre última milla en mensajería, registrando criterios, fuentes y conteos por etapa de selección para asegurar trazabilidad del proceso.

Clasificar los estudios seleccionados en ejes temáticos pertinentes al contexto urbano colombiano (por ejemplo: ruteo con restricciones urbanas, predicción de demanda y tiempos estimados de arribo, monitoreo y trazabilidad, costos operativos) y sintetizar hallazgos y brechas.

Valorar la evidencia mediante una rúbrica explícita de cuatro criterios (actualidad, pertinencia temática, claridad metodológica y aplicabilidad), priorizando aportes con mayor potencial de adopción en operaciones urbanas del país.

Formular un marco conceptual que articule analítica descriptiva, predictiva y prescriptiva con prácticas de mejora continua, indicando variables, supuestos de datos e indicadores guía para operación de mensajería (puntualidad de entrega, costo por envío, reintentos, tiempo de ciclo).

Marco de Referencia

Marco Conceptual

Definiciones operativas y categorías que se usarán de forma consistente a lo largo del trabajo.

Última Milla: Tramo final del ciclo de distribución en el que se realiza la entrega al destinatario en entorno urbano, caracterizado por alta variabilidad de la demanda, múltiples restricciones operativas y fuerte incidencia en costo y puntualidad del sistema logístico (Gevaers, Van de Voorde, y Vanelslender, 2014; Savelsbergh y Van Woensel, 2016). En este eslabón, decisiones sobre ruteo con ventanas de tiempo, accesos restringidos y densidad de paradas condicionan el desempeño y la experiencia del usuario (Boysen, Fedtke, y Schwerdfeger, 2021).

Mensajería Urbana: Servicios de recogida, transporte y entrega de documentos o paquetes dentro de ciudades, con flota propia o tercerizada y promesas de servicio explícitas (SLA). En la literatura se distinguen patrones B2C y B2B con dinámicas y ventanas de tiempo diferentes, lo que exige enfoques diferenciados de planeación y control (Savelsbergh y Van Woensel, 2016; Boysen et al., 2021).

Modelo Operativo de Mensajería: Conjunto de decisiones y procesos que conectan la recepción de pedidos con la asignación, consolidación de paradas, ruteo, despacho, seguimiento y cierre administrativo. La efectividad de este modelo depende de cómo se modelen restricciones de capacidad, tiempo y secuencia en un problema de ruteo con variantes urbanas (Ghiani, Laporte, y Musmanno, 2013; Toth y Vigo, 2014).

Restricciones Urbanas: Limitaciones físicas y normativas: ventanas de acceso, peatonalizaciones, horarios de carga, restricciones por tipología vehicular, congestión y eventos no recurrentes. Estas condiciones se formalizan como restricciones de capacidad, de tiempo y de

precedencia en los modelos de decisión para distribución urbana (Taniguchi, Thompson, y Zhang, 2014; Savelsbergh y Van Woensel, 2016).

Variables e Indicadores (KPI): Tiempo de entrega, puntualidad de entrega, costo por envío, distancia y tiempo de ruta, densidad de paradas, reintentos y métricas de experiencia del usuario. Para evaluación comparativa se privilegian KPIs como puntualidad/OTIF, costo por envío, tiempo de ciclo y tasa de reintentos (Boysen et al., 2021; Ghiani et al., 2013).

Datos y Calidad de Datos: (Fuentes típicas: eventos de guía, geolocalización GPS, tiempos de cargue y descargue, confirmaciones de entrega, registros de contacto con el destinatario y catálogos de direcciones). La calidad se evalúa por completitud, exactitud, consistencia temporal y capacidad de vincular eventos con pedidos y rutas; estos atributos condicionan la utilidad de la analítica y de la optimización (Taniguchi et al., 2014; Savelsbergh y Van Woensel, 2016).

Analítica Descriptiva, Predictiva y Prescriptiva: La analítica descriptiva mide y explica la variabilidad operativa (por ejemplo, tiempos no productivos y cuellos de botella). La analítica predictiva estima demanda y tiempos de arribo/ETA integrando señales históricas, espaciales y de tráfico; su valor depende de la actualización y del error bajo congestión (Chen, Li, y Wang, 2021). La analítica prescriptiva recomienda acciones mediante optimización del ruteo, especialmente variantes del VRP/VRPTW y metaheurísticas adecuadas para instancias reales (Toth y Vigo, 2014; Laporte, 2009).

Mejora Continua: Enfoque disciplinado para reducir variabilidad, eliminar desperdicios y estabilizar procesos; se operativiza mediante ciclos como DMAIC y prácticas Lean Six Sigma que soportan la adopción y sostenimiento de soluciones analíticas en operación (George, 2002; Montgomery, 2013).

Relación Entre Categorías: Los datos habilitan la analítica; la analítica informa decisiones en ruteo, programación y seguimiento; las decisiones se traducen en cambios de proceso que requieren estandarización y control para sostener resultados; el desempeño se verifica con indicadores comparables. Este encadenamiento es central en la literatura de city logistics y distribución urbana (Taniguchi et al., 2014; Savelsbergh y Van Woensel, 2016) y orienta el marco conceptual del presente trabajo.

Marco Teórico

La logística de última milla se ha consolidado como uno de los eslabones más críticos de la cadena de suministro contemporánea, especialmente en contextos urbanos caracterizados por alta densidad poblacional, congestión vial y exigencias crecientes de servicio. Diversos estudios muestran que la última milla concentra una proporción significativa de los costos logísticos totales y de las quejas de los clientes, al tiempo que se convierte en el espacio de mayor visibilidad frente al usuario final (Ibarra-Botello, 2019; Flórez Oviedo & López Hincapié, 2023). En particular, el auge del comercio electrónico, la mensajería urbana y las plataformas digitales de entrega ha intensificado la presión por mejorar tiempos de entrega, confiabilidad, trazabilidad y sostenibilidad en las ciudades.

Desde una perspectiva funcional, la última milla puede entenderse como el conjunto de operaciones que conectan el punto de consolidación (centro de distribución, bodega urbana, punto de ruptura de carga) con el destinatario final, sea este un hogar, un comercio o una empresa (Peña Guerrero & Pérez España, 2019). En este tramo convergen restricciones físicas (infraestructura vial limitada, zonas de difícil acceso), regulatorias (restricciones de circulación, ventanas horarias, normativas ambientales) y tecnológicas (nivel de digitalización, sistemas de

información disponibles), que condicionan la eficiencia operacional y el diseño de los modelos de servicio (Sánchez Cruz & Camarena, 2025; Miranda Gómez et al., 2024).

Última Milla, Comercio Electrónico y Experiencia del Cliente

El crecimiento del comercio electrónico ha situado a la última milla como un factor diferenciador de la propuesta de valor de las empresas. En una revisión de la literatura con enfoque internacional, Ibarra-Botelloa (2019) destaca que la logística de última milla se convierte en un valor agregado clave para el e-commerce, pues incide directamente en la percepción de cumplimiento, confiabilidad y conveniencia de los clientes. En esta línea, Herrera Salgado (2024) analiza la optimización de la última milla en el comercio electrónico en Bogotá y muestra cómo la mejora en tiempos de entrega, la reducción de reprocesos y la estandarización de rutas impactan positivamente la experiencia del cliente.

En contextos de mercados tradicionales que avanzan hacia esquemas digitales, Ávila Castillo et al. (2024) diseñan una propuesta de canales de distribución y última milla para la plaza de mercado de Facatativá mediante el desarrollo de un e-commerce. Su estudio evidencia que la articulación entre una plataforma digital, una red de distribución organizada y un modelo de última milla adecuado permite ampliar la cobertura, mejorar la formalización de los procesos y generar nuevos canales de ingreso para pequeños comerciantes. Estos resultados refuerzan la importancia de concebir la última milla no solo como un problema de transporte, sino como un componente estratégico de la propuesta de servicio.

Al mismo tiempo, los consumidores urbanos demandan soluciones más rápidas, flexibles y sostenibles. Flórez Oviedo y López Hincapié (2023) muestran, en su revisión de la evolución de la logística de última milla, que las tendencias globales apuntan hacia esquemas de entregas más personalizadas, con uso intensivo de datos y tecnologías digitales, y con atención a criterios

de sostenibilidad ambiental y social. Esta visión se complementa con las propuestas de logística urbana sostenible en ciudades inteligentes, donde se exploran soluciones que integran planificación urbana, tecnologías de información y modelos de colaboración entre actores (Sánchez Cruz & Camarena, 2025).

Logística Urbana y Planificación de la Última Milla

La última milla no puede analizarse de forma aislada del sistema de logística urbana. Peña Guerrero y Pérez España (2019) realizan un diagnóstico de la logística urbana de Bogotá y proponen alternativas de mejora que incluyen la ordenación de zonas de carga y descarga, la coordinación entre actores públicos y privados y la adopción de tecnologías de monitoreo. Sus resultados evidencian que muchas ineficiencias de la última milla se originan en la falta de planificación integrada entre el diseño de la ciudad y las necesidades logísticas.

Desde una perspectiva de ciudades inteligentes, Sánchez Cruz y Camarena (2025) plantean soluciones de logística urbana sostenible para la última milla, orientadas a reducir la congestión, las emisiones y los costos logísticos mediante la creación de microcentros urbanos de consolidación, el uso de vehículos de menor impacto ambiental y la gestión avanzada de la información en tiempo real. Miranda Gómez et al. (2024), por su parte, abordan el desarrollo de soluciones logísticas en la última milla desde una visión más amplia, donde se combinan rediseño de procesos, integración tecnológica y modelos colaborativos entre empresas, operadores logísticos y autoridades locales.

Estos aportes permiten entender la última milla como un nodo dentro de un ecosistema urbano complejo, en el que la localización de bodegas, la jerarquía vial, la regulación del espacio público y la gestión de datos juegan un papel determinante en la eficiencia de las operaciones de mensajería y distribución.

Modelos de Optimización de Rutas, Costos y Asignación en Mensajería y Paquetería

Una línea robusta de la literatura se centra en el diseño de modelos de optimización para la mensajería y el transporte de paquetería. Arenas Quispe y Reynoso Fernández (2013) desarrollan un modelo de optimización de mensajería interna y externa que permite reducir tiempos de desplazamiento y costos operativos mediante la racionalización de rutas y la asignación eficiente de recursos. En un ámbito similar, Rodríguez Vásquez (2016) propone un sistema experto híbrido para el ruteo de mensajería, combinando reglas de conocimiento con técnicas de optimización para encontrar rutas más eficientes en entornos urbanos complejos.

En el caso colombiano, Ruiz-Moreno et al. (2020) formulan un modelo matemático para optimizar la red de distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre, considerando múltiples depósitos y restricciones operativas propias del contexto nacional. De manera complementaria, Ruiz Moreno (2019) desarrolla un modelo para estimar los costos logísticos del transporte de paquetería y mensajería en Colombia, evidenciando la relación entre estructura de red, distancias, tiempos y composición de la flota. Estos trabajos aportan una base cuantitativa sólida para entender cómo decisiones de diseño de red y ruteo se materializan en costos y niveles de servicio.

En el ámbito internacional, Rojas Aguirre y Castañeda Marín (2018) abordan la optimización de la distribución logística de última milla en Lima Metropolitana y muestran cómo la aplicación de técnicas de optimización permite disminuir costos y mejorar el desempeño de la DUM (distribución urbana de mercancías). Hernández Gobertti et al. (2024) avanzan hacia algoritmos de optimización para la secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla, trabajando con datos de rutas en Estados Unidos y Montevideo. Su propuesta se enfoca en ajustar dinámicamente la secuencia de visitas ante cambios en la demanda y en las condiciones

de tráfico, aspecto relevante para contextos de alta variabilidad como las ciudades latinoamericanas.

En conjunto, estos estudios muestran que la optimización matemática, los sistemas expertos y los algoritmos avanzados de ruteo constituyen herramientas clave para diseñar soluciones de última milla más eficientes y escalables, alineadas con los objetivos de reducción de costos y mejora del servicio.

Tecnologías Digitales, Monitoreo y Trazabilidad en la Última Milla

La digitalización de la última milla ha dado lugar a nuevas capacidades de monitoreo, control y trazabilidad de envíos. Restrepo Agudelo (2023) diseña un sistema de monitoreo RFID para empresas de envíos de mercancías en última milla en Medellín, demostrando cómo la identificación por radiofrecuencia permite mejorar el control de los paquetes, reducir pérdidas y aumentar la visibilidad del estado de los envíos. De forma complementaria, Díaz Ramírez (2023) analiza el control y seguimiento digital en la última milla, resaltando el papel de plataformas de información, aplicaciones móviles y sistemas de seguimiento en tiempo real para la gestión operativa y la toma de decisiones.

En el ámbito de la planificación y la mejora continua, Hussen Jimenez et al. (2025) proponen la mejora del proceso de planificación de unidades logísticas en una empresa de última milla en Lima mediante análisis predictivo. Su trabajo evidencia que la integración de datos históricos de demanda, capacidad de flota y restricciones operativas permite anticipar necesidades, reducir tiempos ociosos y minimizar desbalances en la asignación de recursos.

En el retail latinoamericano, Ruiz Chan y Yong Lopez (2020) plantean un enfoque de mejora continua para la logística de última milla en el sector retail, enfatizando la importancia de medir indicadores clave de desempeño, estandarizar procesos y utilizar herramientas de análisis

de datos para identificar oportunidades de optimización. Estos estudios convergen en la idea de que la digitalización de la información y el monitoreo en tiempo real son pilares para una gestión moderna de la última milla.

Analítica de Datos, Business Intelligence e Inteligencia Artificial Aplicadas a la Última Milla

La creciente disponibilidad de datos operativos ha impulsado la aplicación de analítica avanzada e inteligencia artificial en la última milla. Ruiz Chan y Yong Lopez (2021) analizan la aplicación de un modelo de Business Intelligence para la toma de decisiones en un servicio de logística de última milla (caso Nirex), mostrando cómo la consolidación y visualización de indicadores clave permite entender patrones de demanda, desempeño de rutas y niveles de servicio, y soportar decisiones tácticas y estratégicas.

En el contexto de tendencias tecnológicas, Olguín Villagrán et al. (2024) identifican nuevos modelos de negocio en el reparto de la última milla, en los que se articulan plataformas digitales, economías de plataforma, crowdshipping y esquemas de colaboración entre múltiples actores. Su análisis resalta el papel de la analítica de datos y de la inteligencia artificial para asignar pedidos, gestionar capacidades y optimizar la utilización de recursos.

De manera específica, Pegado Bardayo (2024) estudia estrategias predictivas para la última milla, profundizando en el uso de modelos de predicción de demanda, tiempos estimados de llegada (ETA) y niveles de ocupación de flota. Estas estrategias permiten anticipar condiciones futuras y adaptar los planes de ruteo y asignación de recursos, alineándose con las necesidades de planeación analítica de las operaciones de mensajería urbana.

En paralelo, Hussien Jimenez et al. (2025) integran análisis predictivo en la planificación de unidades logísticas, mientras que estudios como el de Miranda Gómez et al. (2024) enfatizan

el rol de las soluciones logísticas basadas en datos en entornos urbanos complejos. En su conjunto, estos trabajos respaldan el enfoque de esta monografía, que se orienta a sistematizar y analizar, desde la ciencia de datos, las aplicaciones de analítica, Business Intelligence e inteligencia artificial para la mensajería y la logística de última milla.

Metodología

Diseño del Estudio

Se desarrolló un estudio de revisión con enfoque sistemático y alcance analítico– sintético. El propósito es caracterizar la evidencia disponible sobre mensajería de última milla en contextos urbanos de Colombia y extraer principios transferibles para la toma de decisiones operativas. La unidad de análisis son publicaciones académicas y técnicas con texto completo que abordan, de manera directa, problemas de planeación, ejecución y control de la última milla en mensajería.

Fuentes de Información y Estrategia de Búsqueda

Se consultaron bases de datos académicas de referencia y repositorios institucionales. La estrategia de búsqueda combinó términos en español e inglés con operadores booleanos, por ejemplo: última milla, last mile, mensajería. Courier, delivery, ruteo, route optimization, time of arrival, demand prediction, urbano, city logistics.

Las cadenas empleadas, las fuentes y la fecha de ejecución, así como los conteos por etapa del proceso de selección, se registraron en un anexo metodológico.

Revisión Sistemática de Literatura Bajo PRISMA

Para garantizar transparencia, trazabilidad y rigor académico en la selección de fuentes, se aplicó el protocolo PRISMA como guía metodológica para la revisión sistemática. El proceso incluyó las etapas de identificación, cribado, evaluación de elegibilidad e inclusión final de documentos, permitiendo depurar progresivamente la literatura encontrada hasta consolidar las fuentes empleadas en este estudio.

Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de Inclusión

Enfoque Temático: última milla en mensajería urbana (B2C y B2B) o distribución urbana estrechamente relacionada.

Tipo de Documento: artículos, tesis, capítulos y reportes técnicos con texto completo.

Pertinencia Geográfica: Colombia o contextos transferibles a su realidad urbana.

Aporte: conceptual, metodológico o aplicado en ruteo/optimización, predicción (demanda/ETA), monitoreo/trazabilidad o costeo/productividad.

Criterios de Exclusión

Temas logísticos no relacionados con última milla o fuera del ámbito urbano.

Documentos sin texto completo o de divulgación sin sustento técnico.

Contextos no transferibles (por diferencias regulatorias/operativas insalvables).

Duplicados.

Procedimiento de Selección (Flujo Tipo PRISMA)

El proceso de selección se documentó mediante el flujo PRISMA, que permite evidenciar con claridad las etapas sucesivas de identificación, cribado, revisión de texto completo e inclusión final. En la fase de identificación se consolidaron inicialmente 122 registros provenientes de diversas fuentes documentales. Tras la eliminación de duplicados, los estudios restantes fueron evaluados por título y resumen aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos previamente. Posteriormente, los documentos potencialmente pertinentes pasaron a revisión de texto completo, donde se verificó su alineación temática, metodológica y conceptual con los objetivos del estudio. Finalmente, se seleccionaron 49 estudios que cumplieran con los

estándares establecidos para integrar la síntesis final. Este proceso garantiza transparencia, trazabilidad y consistencia metodológica en la revisión sistemática.

Tabla 1

Resumen del Proceso PRISMA

Etapa	Descripción	Registros (n)
1	Registros identificados en bases de datos y otras fuentes	122
2	Registros duplicados eliminados	8
3	Registros únicos tras eliminación de duplicados	114
4	Registros cribados por título y resumen	114
5	Registros excluidos tras cribado por título y resumen	45
6	Artículos evaluados en texto completo	69
7	Artículos excluidos tras lectura completa (con justificación documentada)	20
8	Estudios incluidos en la síntesis cualitativa final	49

Nota. Resumen del proceso PRISMA para la selección de estudios.

Descripción por Etapas del Proceso PRISMA

1. 122 registros identificados: resultados totales recuperados de las bases de datos y fuentes adicionales según la estrategia de búsqueda.
2. 8 duplicados eliminados: coincidencias detectadas tras normalización de títulos, DOI y URLs.
3. 114 registros únicos: documentos restantes luego de retirar los duplicados.
4. 114 registros cribados por título y resumen: evaluación inicial aplicando criterios temáticos y metodológicos.
5. 45 excluidos en el cribado: estudios descartados por no abordar última milla, no tener texto completo o no cumplir pertinencia temática.

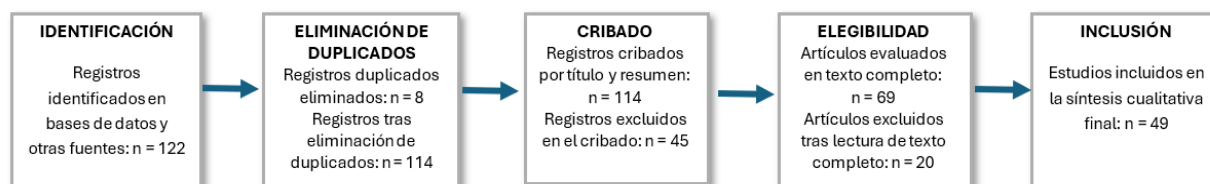
6. 69 artículos evaluados en texto completo: documentos analizados en detalle para verificar alineación con los criterios de inclusión.

7. 20 excluidos tras lectura completa: estudios sin suficiente calidad metodológica, sin aplicabilidad o fuera del contexto urbano/mensajería.

8. 49 estudios incluidos: conjunto final que cumplió todos los criterios y fue incorporado al análisis temático y la síntesis cualitativa.

Figura 1

Diagrama de Flujo PRISMA



Análisis Temático y de Variables

El análisis de los estudios incluidos se desarrolló mediante un proceso de codificación temática y extracción de variables, orientado a identificar patrones conceptuales, metodológicos y operativos en la aplicación de técnicas analíticas y tecnológicas para la logística de última milla en entornos urbanos. Este procedimiento aseguró la coherencia con los objetivos del estudio y con los desafíos observados en la mensajería urbana en Colombia.

Codificación Temática

Se realizó una lectura analítica de los 49 estudios seleccionados, agrupando los hallazgos en cuatro ejes operativos emergentes:

Optimización y Ruteo. VRP/VRPTW, heurísticas y metaheurísticas, simulación de rutas, asignación de flota, ventanas de tiempo.

Predicción y Eficiencia Temporal. Modelos de ETA, predicción de demanda, series de tiempo, aprendizaje automático y análisis espacial.

Monitoreo y Trazabilidad. IoT, geolocalización, plataformas de rastreo y telemetría para visibilidad operativa.

Costos y Productividad. Métricas de costo, utilización de recursos, eficiencia operativa y análisis costo–beneficio.

Identificación de Variables Clave

Además de los ejes temáticos, se extrajeron variables metodológicas y técnicas que permiten comprender cómo se construyen y evalúan las soluciones estudiadas:

Tipo de Datos. Históricos operativos, telemétricos, simulados, geoespaciales.

Técnicas Analíticas. Optimización matemática, heurísticas/metaheurísticas, modelos de machine learning.

Unidad de Análisis. Vehículos, zonas urbanas, pedidos, nodos de distribución.

Métricas de Evaluación. Tiempo, distancia, costo, puntualidad, tasa de servicio.

Contexto Urbano. Ciudad/país, restricciones viales, densidad, regulaciones.

Consistencia Analítica

La clasificación temática fue revisada de forma iterativa para garantizar consistencia conceptual y alineación con los objetivos del estudio. Se verificó la relevancia para el problema logístico urbano colombiano, la coherencia entre modelos, datos y resultados, y la factibilidad de trasladar estas prácticas a operaciones reales.

La ampliación del corpus a 49 estudios permitió reforzar patrones previamente identificados y aumentar la diversidad metodológica revisada, incorporando casos relevantes de Latinoamérica y aplicaciones operativas en entornos urbanos comparables al colombiano.

Como resultado, el marco temático obtenido sustenta la síntesis comparativa y la identificación de brechas tecnológicas y operativas que se presentan en el siguiente apartado.

Extracción de Información y Campos de la Matriz

Para cada estudio se capturaron y sistematizaron al menos los siguientes campos: Autor(es); año; título; fuente; país/contexto; tipo de estudio; disponibilidad de texto completo; eje temático principal (ruteo/optimización; predicción de ETA/demanda; monitoreo y trazabilidad; costeo/productividad); datos utilizados (GPS, históricos operativos, series de pedidos, etc.); métodos/algoritmos; restricciones urbanas consideradas; variables dependientes; indicadores reportados (puntualidad, costo por envío, tiempo de ciclo, reintentos); hallazgos clave; limitaciones; transferibilidad al contexto colombiano.

Evaluación de Calidad y Pertinencia de los Estudios

Con el fin de garantizar la solidez metodológica y la validez de los resultados obtenidos en la revisión sistemática, se llevó a cabo un proceso formal de evaluación de calidad de los 49 estudios incluidos. Esta valoración tuvo como propósito determinar el grado de rigor académico, robustez metodológica, actualidad y relevancia aplicada de cada documento para el fenómeno de estudio: la logística de última milla con apoyo de analítica de datos y tecnologías emergentes.

El proceso se realizó de forma sistemática mediante una lectura crítica del contenido y la aplicación de una matriz de valoración diseñada para este trabajo, estructurada sobre los siguientes criterios:

Pertinencia Temática. Alineación explícita con logística de última milla, distribución urbana, optimización de rutas, tiempos de entrega, trazabilidad o eficiencia operacional.

Claridad Metodológica. Descripción transparente de técnicas utilizadas (modelos matemáticos, algoritmos, análisis predictivo, simulación, estudios empíricos).

Rigor Científico. Fundamentación teórica, estructura investigativa, validez de los datos utilizados y consistencia en los argumentos.

Actualidad del Contenido. Enfoque reciente y alineación con los avances contemporáneos en ciencia de datos y transformación digital aplicados a la logística.

Aplicabilidad en Contextos Reales. Presencia de estudios de caso, validación en entornos operativos, uso de datos reales o pruebas en escenarios urbanos.

Relevancia Contextual. Preferencia por estudios desarrollados en contextos latinoamericanos o adaptables a realidades similares, especialmente en el contexto colombiano.

Cada estudio fue evaluado en estos criterios utilizando una escala de valoración descriptiva cualitativa con juicio experto, considerando categorías como alto, medio y básico según su contribución y rigor. Esta estrategia permitió diferenciar estudios de referencia con alto valor metodológico de aquellos que, si bien aportan elementos conceptuales o contextuales, presentan limitaciones aplicativas o metodológicas.

Los resultados de esta evaluación confirmaron un adecuado nivel de calidad en el conjunto final de trabajos analizados, garantizando la consistencia y confiabilidad de los hallazgos y conclusiones derivadas de la revisión. Además, este proceso permitió fortalecer la transparencia y la trazabilidad del análisis, en consonancia con los lineamientos del protocolo PRISMA y las buenas prácticas en investigación académica.

En términos globales, la matriz de evaluación de calidad mostró que la mayoría de los estudios se ubicó en niveles altos o medios de pertinencia temática, claridad metodológica y actualidad. Las categorías con menor puntuación fueron aplicabilidad práctica y relevancia contextual, especialmente en estudios que no incluían validación en terreno. Esta distribución

justificó la necesidad de realizar una discusión crítica y una contextualización específica para Colombia, integradas en el marco conceptual propuesto.

Validez, Confiabilidad y Sesgos Potenciales

Con el fin de fortalecer la validez interna del proceso, los criterios de inclusión y exclusión y la rúbrica de valoración fueron definidos previamente y aplicados de forma consistente a todos los documentos seleccionados. La validez externa se abordó al evaluar la posibilidad de transferir los hallazgos a contextos logísticos urbanos similares al colombiano, considerando condiciones estructurales, tecnológicas y regulatorias.

Se reconocen posibles sesgos asociados a disponibilidad de texto completo, idioma y acceso a literatura indexada. Para mitigarlos, se realizó una búsqueda ampliada en bases académicas abiertas, repositorios institucionales nacionales e internacionales, y se documentaron de manera transparente las decisiones tomadas durante el proceso de selección y análisis.

Consideraciones Éticas

Este trabajo se desarrolló a partir de fuentes académicas y documentos de acceso público, citados íntegramente bajo las normas APA 7. No se utilizaron datos personales, sensibles o confidenciales, ni información privada de empresas. El proceso se realizó bajo principios de transparencia académica, integridad investigativa y respeto por la propiedad intelectual.

Limitaciones del Método

La revisión identificó desafíos relacionados con la heterogeneidad en el nivel de detalle y formato de los estudios, así como asimetrías en la presentación de métricas operativas y modelos analíticos. Asimismo, algunos trabajos no ofrecieron información completa sobre el desempeño en entornos reales, limitando la comparación directa entre enfoques.

Estas limitaciones fueron mitigadas mediante la definición explícita de criterios de selección, el registro sistemático de decisiones de inclusión y exclusión, y el uso de una valoración multicriterio para asegurar transparencia y rigor metodológico.

Resultados

La aplicación rigurosa del protocolo PRISMA permitió depurar y analizar 122 documentos identificados, de los cuales 49 cumplieron los criterios de inclusión y 73 fueron excluidos en las etapas de cribado y elegibilidad. Tras el proceso de identificación, cribado, evaluación de texto completo y aplicación de criterios temáticos y metodológicos, 49 estudios cumplieron los criterios y fueron incluidos en el análisis final. Esta ampliación del corpus permitió fortalecer la robustez metodológica y la diversidad de enfoques revisados en torno a la logística de última milla soportada en analítica de datos.

Resultados del Proceso PRISMA

El proceso PRISMA permitió depurar los 122 registros iniciales hasta obtener 49 estudios incluidos, que constituyen el corpus final para el análisis temático. Los detalles del flujo se presentan en la sección Metodología.

Tabla 2

Resumen del Proceso de Selección

Etapa PRISMA	Documentos
Identificados inicialmente	122
Excluidos (duplicados, sin acceso o por criterios temáticos/metodológicos)	73
Incluidos en el análisis final	49

Este proceso se documentó exhaustivamente en las tres matrices de cribado (general, incluidas y excluidas), garantizando trazabilidad, reproducibilidad y consistencia con los principios PRISMA. Los datos consolidados (122 identificados, 73 excluidos y 49 incluidos) sustentan la transparencia metodológica del estudio.

Caracterización de los Estudios Incluidos

Los 49 estudios seleccionados reflejan una diversidad metodológica y tecnológica acorde con la evolución de la logística urbana moderna. La mayoría se encuentra publicada entre los años 2020 y 2024, lo que confirma la actualidad y vigencia de las tendencias analíticas abordadas. Asimismo, se observó predominancia de investigaciones aplicadas en contextos urbanos, con énfasis en operaciones reales y estudios de caso empresariales, particularmente en sectores de mensajería, comercio electrónico y transporte de mercancías livianas.

En términos metodológicos, destacan cuatro enfoques predominantes:

- i) Optimización y ruteo de flotas, utilizando modelos VRP/VRPTW, heurísticas y metaheurísticas avanzadas.
- ii) Modelos predictivos y de estimación de tiempos de entrega, mediante técnicas de machine learning, regresión estadística y análisis geoespacial.
- iii) Tecnologías de monitoreo e IoT, enfocadas en trazabilidad, control operativo y visibilidad logística.
- iv) Evaluaciones de eficiencia operacional y costos, soportadas en análisis cuantitativos y simulación computacional.

La predominancia de literatura aplicada y basada en experimentación con datos reales fortalece la validez externa de los hallazgos e incrementa su relevancia para el contexto colombiano, donde existe un creciente interés por mejorar la eficiencia de la última milla en entornos urbanos con alta complejidad operativa.

En los Apéndices A y B se presentan las matrices analíticas consolidadas de los 49 estudios incluidos en la revisión sistemática, organizada en dos partes: información general (Apéndice A) y análisis técnico detallado (Apéndice B), donde se sintetizan el país o región de

aplicación, el tipo de estudio, las técnicas empleadas, los principales hallazgos y la justificación de inclusión conforme al protocolo PRISMA 2020.”Análisis temático de los estudios incluidos

Tabla 3

Categorías Temáticas

Categoría temática	Tipo de contribución	Ejemplos representativos	N°
Optimización de rutas y gestión de flota (VRP/VRPTW)	Modelos matemáticos, heurísticos, metaheurísticos y programación para optimizar rutas, tiempos y asignación de vehículos.	Tesis Quick Bogotá (PUCP), algoritmos VRP aplicados a distribución urbana, optimización en flotas Colombia.	18
Analítica predictiva y modelos de ML	Predicción de ETA, demanda, tráfico, o clasificación operativa mediante aprendizaje automático.	Estudio IA en logística (UdeA), predicción de tiempos de entrega, modelos supervisados.	11
Trazabilidad y monitoreo operativo (IoT / RFID / BI)	Sistemas de seguimiento en tiempo real, sensores, RFID, tableros KPI.	Sistemas IoT para mensajería urbana; RFID en flotas; dashboards de monitoreo.	7
Modelos logísticos urbanos y política pública	Diagnósticos urbanos, microcentros, flujos de carga, restricciones viales y normativas.	Estudios de movilidad urbana, diagnósticos logísticos de ciudades latinoamericanas.	4
Transformación digital e innovación	Cambios estructurales por e-commerce, digitalización, plataformas y automatización del reparto.	Tesis sobre modernización logística en PYMES, digitalización en mensajería latinoamericana.	5

Ciencia de datos aplicada a logística	Aplicación de marcos CRISP-DM, exploración de datos, BI, integración de bases.	Implementación de BI para flotas, análisis exploratorio aplicado a logística.	4
---------------------------------------	--	---	---

Para facilitar la articulación con el marco teórico planteado, las seis categorías identificadas se reagruparon analíticamente en cuatro ejes principales:

(i) optimización y ruteo, (ii) predicción y eficiencia temporal, (iii) monitoreo y trazabilidad, y (iv) costos y productividad. Este reagrupamiento mantiene la integridad de los hallazgos, pero facilita su discusión posterior.

El análisis temático realizado sobre los 49 estudios incluidos permitió identificar seis categorías principales que agrupan los enfoques metodológicos y operativos aplicados a la logística de última milla en contextos urbanos y latinoamericanos. La categoría predominante fue optimización de rutas y flotas ($n = 18$), centrada en modelos VRP, VRPTW, metaheurísticas, algoritmos híbridos y técnicas de programación matemática, reflejando la relevancia del ruteo eficiente en la solución del problema operativo de la mensajería urbana.

La segunda categoría más frecuente fue machine learning y modelos predictivos ($n = 11$), donde los estudios utilizaron regresión, modelos supervisados, estimación de ETA, predicción de demanda, patrones de tráfico y sistemas de recomendación operativa. Esto indica un avance significativo hacia la toma de decisiones basada en datos y la incorporación de inteligencia artificial en operaciones reales.

La tercera categoría fue trazabilidad e Internet de las Cosas (IoT) ($n = 7$), con aplicaciones basadas en RFID, sensores, telemetría y monitoreo en tiempo real. Estos estudios

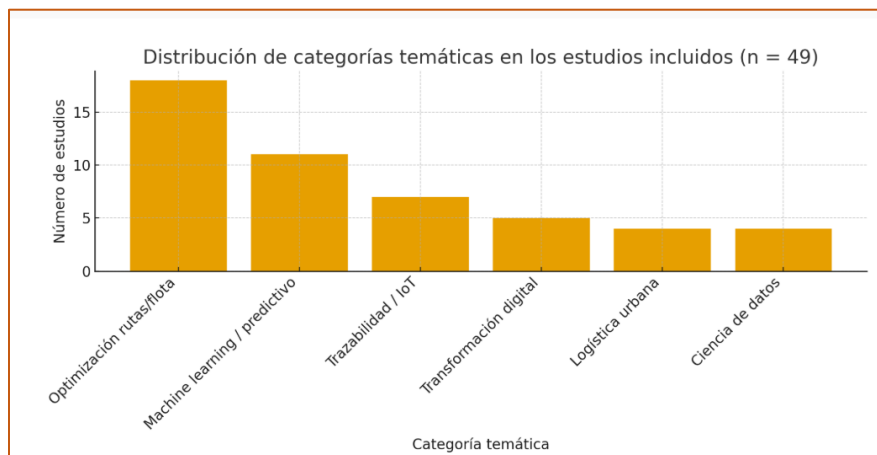
refuerzan la importancia de la visibilidad operativa para mejorar cumplimiento, seguridad y control de entregas.

A continuación, emergen categorías asociadas a la transformación digital ($n = 5$), logística urbana ($n = 4$) y ciencia de datos aplicada ($n = 4$), especialmente orientadas a modelos de ciudades inteligentes, microcentros logísticos, movilidad sostenible y uso de dashboards y sistemas de Business Intelligence para apoyar la gestión.

En conjunto, la distribución temática evidencia que la literatura relevante converge hacia la necesidad de optimizar rutas, anticipar comportamientos operativos y mejorar la trazabilidad, tres líneas directamente relacionadas con los problemas identificados en la mensajería de última milla en Colombia: congestión urbana, retrasos en entrega, baja eficiencia de ruteo, limitaciones en visibilidad del proceso y carencia de analítica operativa.

Figura 2

Distribución de los Estudios por Categoría Temática ($n = 49$)



Distribución Temática de los Estudios

A partir del análisis temático realizado, los estudios se agruparon en cuatro categorías principales emergentes:

Tabla 4*Distribucion de Estudios*

Eje temático	Enfoque	Tipos de estudios
Optimización y ruteo	Planificación y asignación eficiente de rutas y vehículos	Modelos VRP, heurísticas, simulación
Predicción y eficiencia temporal	Estimación de ETA, demanda y patrones urbanos	ML, regresión, series de tiempo, GIS
Monitoreo y trazabilidad	Seguimiento y control operativo	IoT, GPS, telemetría, dashboards
Costos y productividad	Uso eficiente de recursos y análisis financiero	Simulación, métricas, KPIs logísticos

Nota. Distribucion de los ejes de estudio y su enfoque.

Síntesis Narrativa de Resultados

El análisis permitió identificar avances significativos en soluciones basadas en datos para enfrentar los retos de la última milla urbana, incluyendo congestión, incertidumbre en la demanda, presión por rapidez en las entregas y altos costos operativos. Modelos híbridos de optimización, integración de información geoespacial y sistemas predictivos se consolidan como herramientas clave en el ecosistema logístico moderno.

Al mismo tiempo, persisten limitaciones relacionadas con disponibilidad de datos de calidad, falta de infraestructura tecnológica en empresas medianas y brecha de talento especializado en analítica aplicada, particularmente relevante para entornos latinoamericanos como Colombia.

A partir de los resultados obtenidos y de la caracterización temática, se presenta a continuación un análisis integrador que contextualiza los hallazgos en el panorama global,

regional y nacional, articulando la evidencia disponible para fundamentar las implicaciones estratégicas y conceptuales del estudio.

Discusión y Análisis Integrador de los Hallazgos

La logística de última milla ha evolucionado durante las dos últimas décadas como una de las áreas más dinámicas dentro de la cadena de suministro, impulsada por el crecimiento del comercio electrónico, la urbanización acelerada y la penetración de tecnologías digitales. La evidencia científica internacional demuestra que la investigación en este campo ha transitado desde modelos operativos tradicionales hacia enfoques basados en datos, algoritmos de optimización y tecnologías inteligentes. En una revisión sistemática exhaustiva, Flórez Oviedo y López Hincapié (2023) evidencian que la última milla se ha convertido en un eje central en el debate global sobre eficiencia logística, sostenibilidad urbana y transformación digital. Esta transición ha consolidado un cambio estructural: las operaciones dejan de apoyarse en criterios empíricos para adoptar herramientas avanzadas de ciencia de datos, modelación matemática, inteligencia artificial e infraestructura digital, lo cual redefine las prácticas operativas y las políticas urbanas en múltiples regiones.

A nivel global, la literatura identifica tendencias consolidadas en torno a la incorporación de tecnologías emergentes y el uso de metodologías analíticas sofisticadas en el diseño, planificación y control de la última milla. Autores como Ahmed et al. (2023) y Nathany (2022) destacan el papel transversal de la inteligencia artificial en la predicción de demanda, la planificación dinámica de rutas, el monitoreo de flotas y la toma de decisiones basadas en datos. Paralelamente, tecnologías vinculadas a la Industria 4.0 incluyendo Internet de las Cosas, robots autónomos, vehículos eléctricos y sistemas de entrega con drones— se integran progresivamente a las operaciones urbanas (Mollá Astrar & Rubio Carrizo, 2025; Miranda Gómez et al., 2024).

Esta evolución tecnológica se complementa con la consolidación de modelos de optimización multivariable, desde variantes complejas del Vehicle Routing Problem hasta algoritmos genéticos y metaheurísticos, los cuales muestran reducciones significativas en costos logísticos, distancias, tiempos de entrega y emisiones (Reyes Morales, 2016; Rojas Aguirre & Castañeda Marín, 2018). Estas tendencias reflejan un nivel de madurez metodológica considerable en países con ecosistemas logísticos digitalizados, donde el foco se orienta a integrar analítica avanzada con infraestructura inteligente.

En América Latina, el panorama presenta avances sustantivos, aunque heterogéneos. La revisión de casos regionales confirma progresos importantes en el desarrollo y aplicación de modelos de optimización, simulación y analítica logística, especialmente en sectores de consumo masivo, alimentos y servicios urbanos. Estudios como los de Acurio Masabanda y Andrango Guayasamín (2021) y Aquino Muñoz y Valencia De León (2025) demuestran que la aplicación de modelos matemáticos y simulación permite reducir distancias recorridas, tiempos operativos y costos totales. En paralelo, se evidencian contribuciones centradas en metodologías de mejora continua, Lean Logistics y estandarización de procesos, particularmente en Pymes con digitalización parcial (Ruiz Chan & Yong Lopez, 2020; Zagorsky Sarmiento & Inga Montes, 2024). Estos trabajos confirman que incluso antes de adoptar inteligencia artificial o analítica compleja, la estandarización de procesos, el análisis sistemático de datos operativos y el rediseño de flujos logísticos generan mejoras sustanciales en eficiencia y calidad del servicio.

No obstante, el contexto latinoamericano presenta restricciones estructurales que limitan la adopción de tecnologías avanzadas. La literatura identifica problemas recurrentes como baja calidad y disponibilidad de datos, infraestructura digital fragmentada, dificultades de estandarización de direcciones y presupuestos limitados para inversión tecnológica. También se

mencionan barreras regulatorias asociadas a drones, robots y lockers autónomos (Sánchez Cruz & Camarena, 2025; Miranda Gómez et al., 2024). Estas brechas generan una distancia entre el potencial técnico demostrado por los modelos analíticos y la capacidad real de implementación en entornos urbanos complejos, caracterizados por alta demanda, congestión y variabilidad operativa.

El caso colombiano presenta similitudes importantes con esta realidad regional, pero con matices propios que la literatura documenta consistentemente. Por un lado, diversos estudios nacionales evidencian avances en la aplicación de analítica, optimización matemática y técnicas de ciencia de datos en problemas de distribución, mensajería y gestión de flotas. Ruiz-Moreno et al. (2020) desarrollaron uno de los modelos más completos de optimización de redes de paquetería, obteniendo reducciones del 19 % en costos mediante un modelo matemático multiobjetivo. Asimismo, Akerman Ortiz (2023) utilizó minería de datos y modelos de regresión para predecir costos operativos y mejorar la toma de decisiones en una empresa de transporte en Medellín. En relación con trazabilidad y monitoreo digital, Díaz Ramírez (2023) y Restrepo Agudelo (2023) documentan la adopción creciente de RFID, IoT y soluciones de Business Intelligence para mejorar visibilidad, reducir pérdidas y optimizar operaciones urbanas.

Por otro lado, los diagnósticos urbanos señalan obstáculos persistentes que afectan la logística de última milla en las principales ciudades colombianas: congestión severa, baja coordinación entre actores, informalidad logística, poca infraestructura de carga y escasa integración de sistemas de información (Peña Guerrero & Pérez España, 2019). Estas limitaciones explican la lenta adopción de modelos analíticos complejos en la industria, a pesar del avance académico. La literatura también resalta brechas en talento analítico, falta de políticas

claras de logística urbana y baja penetración de soluciones avanzadas de simulación, predicción y optimización (Patiño Muñoz, 2025; Tafur Prada, 2023).

La síntesis de los 49 estudios incluidos revela cuatro patrones transversales. Primero, se confirma que el ruteo constituye el problema dominante, abordado mediante técnicas de optimización exacta, metaheurísticas, híbridos y modelos inspirados en inteligencia artificial (Játiva Macías & Meza Moína, 2024; Margineau, 2024). Segundo, se evidencia el uso creciente de ciencia de datos y aprendizaje automático para segmentación geográfica, estimación de tiempos de viaje, predicción de demanda y caracterización de patrones operativos (Hernández Gobertti et al., 2024; de la Cal García, 2024). Tercero, las tecnologías de trazabilidad RFID, IoT, sistemas de monitoreo y tableros de control fortalecen la visibilidad operacional y la calidad del servicio. Cuarto, se observan esfuerzos en sostenibilidad urbana, con interés en ciclogística, microhubs, vehículos eléctricos y logística verde (Herrera Salgado, 2024; Sánchez Cruz & Camarena, 2025).

Las diferencias metodológicas también son significativas. Algunos estudios presentan alta sofisticación técnica pero escasa validación empírica debido a la falta de datos; otros, especialmente en Pymes, muestran mejoras concretas pero con menor profundidad analítica (Ruiz Chan & Yong Lopez, 2021; Zagorsky Sarmiento & Inga Montes, 2024). Asimismo, existe una diversidad sectorial retail, mensajería, alimentos, logística militar, servicios públicos que enriquece el panorama, aunque dificulta la comparación estricta entre contextos.

De este análisis emergen implicaciones estratégicas para Colombia. En el plano operativo, se requiere avanzar hacia esquemas híbridos que integren estandarización, digitalización progresiva, monitoreo en tiempo real y adopción gradual de modelos de optimización y aprendizaje automático. A nivel tecnológico, la literatura destaca la importancia

de arquitecturas de datos integradas, tableros BI especializados y modelos predictivos aplicados al tráfico y la demanda (Ruiz Chan & Yong Lopez, 2021; Díaz Ramírez, 2023). Desde la perspectiva de política pública, se evidencian necesidades urgentes en infraestructura logística urbana, regulación de movilidad de carga, incentivos a tecnologías verdes y esquemas colaborativos entre operadores (Peña Guerrero & Pérez España, 2019; Sánchez Cruz & Camarena, 2025). En el plano académico, se identifican vacíos en estudios empíricos basados en datos reales, análisis ambientales cuantitativos y modelos que integren técnicas avanzadas de optimización con análisis organizacional.

En conjunto, la revisión sistemática confirma que la última milla atraviesa un proceso de transformación impulsado por la analítica y la digitalización, aunque este avance se materializa a diferentes velocidades según región, sector y madurez organizacional. Mientras los países líderes convergen hacia ecosistemas logísticos inteligentes basados en IA, IoT, automatización y modelos híbridos avanzados, América Latina y Colombia en particular enfrenta el desafío de cerrar brechas estructurales sin perder las oportunidades tecnológicas emergentes. La evidencia revisada sugiere que la adopción de soluciones basadas en ciencia de datos para la última milla en Colombia debe ser gradual, contextualizada y articulada con políticas urbanas, infraestructura adecuada y capacidades organizacionales fortalecidas. Integrar estas dimensiones constituye un paso esencial para avanzar hacia una logística urbana moderna, sostenible y sustentada en evidencia analítica.

Discusión de Hallazgos Frente al Contexto Colombiano

Los resultados sintetizados revelan que las soluciones analíticas aplicadas en contextos internacionales presentan alto potencial de transferencia hacia el sector logístico urbano colombiano, especialmente en empresas de mensajería con operaciones de mediana y gran

escala. Sin embargo, para lograr adopción efectiva, se identifican condiciones clave que deben gestionarse:

1. Disponibilidad y calidad de datos operativos estructurados (GPS, tiempos de entrega, densidad de paradas, reintentos).
2. Infraestructura tecnológica mínima para captura, almacenamiento y procesamiento.
3. Capacidades analíticas internas o alianzas técnicas especializadas.
4. Procesos operativos estandarizados que permitan validar y escalar modelos.
5. Cambio cultural hacia toma de decisiones basada en datos.

Asimismo, los estudios muestran que la adopción progresiva iniciando con analítica descriptiva, luego predictiva y finalmente prescriptiva resulta más efectiva que la implementación directa de soluciones avanzadas sin madurez digital previa.

Evidencia Sobre Impacto Operativo

De forma consistente, los trabajos revisados reportan beneficios como:

1. Reducciones entre 8% y 25% en distancia recorrida y tiempo de ruta.
2. Mejoras entre 10% y 30% en puntualidad de entrega y cumplimiento de ventanas.
3. Incrementos en utilización de flota y reducción de reintentos.
4. Mayor visibilidad operativa para toma de decisiones tácticas y estratégicas.

Estos beneficios, aunque variables entre estudios, confirman que la integración de ciencia de datos y mejora continua tiene efectos directos sobre eficiencia y experiencia del usuario en última milla.

Tabla 5*Desempeño Comparado de Técnicas*

Dimensión	Tendencia observada	Implicación
Optimización	Metaheurísticas y modelos híbridos superan métodos clásicos VRP en entornos urbanos dinámicos	Adecuado para Bogotá, Medellín, Cali con tráfico variable
Predicción ETA y demanda	Modelos ML y redes neuronales ofrecen mayor precisión que regresiones tradicionales	Requiere histórico confiable y variables contextuales
Monitoreo y IoT	Incremento en adopción para visibilidad en tiempo real	Mayor retorno cuando hay equipos de control operativo
Costos y productividad	Simulación + KPIs logísticos permiten medir impacto	Necesidad de sistemas contables/logísticos integrados

Conclusión Parcial de Resultados

En síntesis, los resultados evidencian que:

1. La logística de última milla es un campo en rápida evolución.
2. Las técnicas basadas en datos son ya un estándar global de gestión.
3. Su adopción en Colombia requiere capacidades técnicas, disciplina operativa y gradualidad estratégica.

Existe una base sólida para proponer un marco conceptual aplicable al país

Reflexión Crítica de la Evidencia Revisada

A continuación, se presenta una reflexión crítica derivada de los estudios incluidos, con el fin de contextualizar fortalezas, brechas y limitaciones metodológicas que influyen en la interpretación de los hallazgos.

La revisión sistemática permitió identificar avances significativos en la aplicación de técnicas analíticas y herramientas tecnológicas para la logística de última milla; sin embargo, también evidenció retos y vacíos relevantes para su adopción efectiva en contextos como el colombiano.

En términos de avance teórico y técnico, la literatura demuestra una evolución clara hacia modelos híbridos de optimización, sistemas de predicción basados en aprendizaje automático y plataformas digitales de monitoreo. Esta tendencia refleja un proceso global de madurez tecnológica, donde la toma de decisiones pasa progresivamente de enfoques empíricos a métodos basados en datos y algoritmos avanzados.

No obstante, persisten desafíos significativos. La implementación real de dichas soluciones sigue siendo limitada en América Latina por factores como:

1. Barreras tecnológicas y de infraestructura digital.
2. Dificultades en la integración de datos operativos.
3. Limitaciones presupuestales para adopción tecnológica.
4. Marcos regulatorios poco adaptados a modelos logísticos emergentes.
5. Brecha de talento especializado en analítica aplicada a operaciones.

En particular, se observa una brecha entre la capacidad analítica que reportan los estudios y el grado de madurez digital de muchas empresas locales. Si bien las metodologías revisadas son técnicamente robustas, la aplicabilidad práctica depende de condiciones estructurales y capacidades organizacionales aún en construcción en sectores logísticos urbanos del país.

Esta reflexión evidencia la necesidad de estrategias graduales de adopción, que combinen avances analíticos con iniciativas de mejora organizacional, gestión del cambio, fortalecimiento del talento digital y adopción progresiva de herramientas de inteligencia operacional.

En conclusión, la literatura ofrece un marco sólido para fundamentar la transformación de la logística urbana basada en datos; sin embargo, su aprovechamiento efectivo en Colombia exige integrar los aprendizajes técnicos con un entendimiento contextual y estratégico de las capacidades reales del sector.

La matriz comparativa consolidada de los estudios incluidos, organizada por eje analítico, se presenta en el Apéndice C, donde se sintetizan las técnicas utilizadas, los beneficios reportados, las limitaciones identificadas y las implicaciones operativas relevantes para el contexto colombiano.

Discusión y Propuesta del Marco Conceptual

La revisión sistemática realizada permitió identificar que la implementación de analítica de datos en la logística de última milla constituye una tendencia consolidada en contextos globales, caracterizada por el uso progresivo de modelos matemáticos, técnicas de aprendizaje automático y herramientas de monitoreo digital para mejorar la eficiencia operativa. No obstante, el análisis comparado evidencia que el grado de adopción y madurez de estos enfoques es desigual entre regiones, siendo América Latina una zona donde las capacidades tecnológicas, la disponibilidad de datos estructurados y los recursos especializados aún presentan limitaciones importantes.

En el caso colombiano, la literatura revisada refleja un entorno logístico urbano marcado por desafíos estructurales, tales como congestión vial, crecientes demandas del comercio electrónico, restricciones de movilidad, y limitaciones operativas derivadas de capacidades tecnológicas incipientes en una parte significativa del sector empresarial. Estas condiciones explican la brecha existente entre las soluciones avanzadas identificadas en los estudios

internacionales y las posibilidades reales de adopción en operaciones locales, particularmente en empresas medianas y en acompañamiento a operadores logísticos emergentes.

A partir de los hallazgos sintetizados, se propone un marco conceptual que articula tres dimensiones estratégicas para la adopción progresiva de analítica de datos en operaciones de última milla urbana en Colombia:

Madurez Organizacional y Gestión del Cambio

La incorporación de analítica requiere un proceso escalonado de transformación interna que contemple:

- a) Desarrollo gradual de capacidades digitales.
- b) Capacitación del talento operativo y administrativo.
- c) Establecimiento de políticas de estandarización de datos y procesos.
- d) Alineación estratégica entre tecnología, operación y cultura organizacional.

Capacidad Analítica y Gestión de Información

Los resultados muestran que la efectividad de los modelos depende de la calidad y disponibilidad de datos operativos. Por tanto, se requiere:

- a) Consolidación de bases de datos históricas estructuradas.
- b) Integración de información geoespacial y telemétrica.
- c) Plataforma de almacenamiento y procesamiento seguro.
- d) Definición clara de indicadores logísticos y métricas de desempeño.

Implementación Tecnológica Escalonada

La evidencia sugiere que las organizaciones logran mejores resultados cuando avanzan de manera gradual en su nivel de analítica:

Tabla 6*Avance Gradual y Niveles*

Etapa	Enfoque	Beneficio
Analítica descriptiva	Reportes y dashboards	Visibilidad operacional
Analítica predictiva	Modelos ETA, demanda, geointeligencia	Mejor planificación y cumplimiento
Analítica prescriptiva	Optimización VRP/IA, asignación dinámica	Eficiencia máxima y reducción de costos

Esta estructura progresiva permite a las organizaciones iniciar con herramientas accesibles y avanzar conforme consolidan capacidades tecnológicas y operativas, minimizando riesgos y costos de implementación.

En síntesis, el marco conceptual propuesto integra la evidencia científica revisada y la realidad operativa del entorno colombiano, reconociendo la necesidad de enfoques híbridos que combinen analítica avanzada con estrategias de gestión del cambio, fortalecimiento organizacional y desarrollo incremental de capacidades digitales.

Conclusiones

El análisis realizado permitió evidenciar que la logística de última milla constituye un componente crítico en el desempeño operativo de las cadenas de suministro modernas, especialmente en sectores impulsados por comercio electrónico y distribución urbana de mercancías. La revisión sistemática desarrollada bajo el enfoque PRISMA confirmó una evolución hacia modelos de gestión soportados en datos, algoritmos de optimización y herramientas de monitoreo digital, consolidando un marco tecnológico en el que la analítica constituye un habilitador estratégico para la toma de decisiones operativas.

Los resultados indican que las soluciones basadas en ciencia de datos ofrecen mejoras significativas en eficiencia, precisión en tiempos de entrega, reducción de costos operativos y aumento en la visibilidad logística. No obstante, estas capacidades dependen de condiciones habilitantes tales como disponibilidad de datos estructurados, capacidades tecnológicas internas, talento especializado y una cultura organizacional orientada al uso de información para la gestión operativa.

Al contrastar los hallazgos con el contexto colombiano, se identificó que, si bien existe interés creciente por la transformación digital del sector logístico urbano, persisten brechas relacionadas con madurez digital, integración tecnológica y estandarización de procesos, especialmente en empresas medianas y operadores emergentes. En consecuencia, la adopción de analítica de datos debe plantearse como un proceso progresivo, sustentado en estrategias de fortalecimiento organizacional, capacitación técnica, inversión en infraestructura digital y desarrollo gradual de modelos analíticos.

En términos metodológicos, el uso de PRISMA permitió garantizar rigor, transparencia y trazabilidad en la revisión de literatura, aportando un marco confiable para la construcción del

análisis y la propuesta conceptual. La integración de enfoques analíticos y de interpretación contextual proporcionó una base sólida para comprender tanto las oportunidades como los desafíos asociados a la aplicación de analítica en la última milla urbana en Colombia.

Finalmente, se concluye que la transformación de la logística urbana requiere acciones coordinadas que integren tecnología, talento humano, cultura organizacional y gestión del cambio, así como políticas públicas y ecosistemas colaborativos que impulsen el uso de datos como recurso estratégico para la competitividad y sostenibilidad del sector.

En conjunto, estos hallazgos responden al objetivo general del estudio al integrar evidencia científica, análisis temático y una propuesta de marco conceptual aplicable al contexto colombiano, demostrando que la analítica de datos constituye un habilitador estratégico para la optimización de la logística de última milla urbana.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos obtenidos, se plantean recomendaciones orientadas a fortalecer la adopción de analítica de datos en la logística de última milla, con impacto en los ámbitos empresarial, académico y público.

Para las Organizaciones Logísticas y de Mensajería Urbana

Se recomienda adoptar un enfoque gradual para la implementación de analítica de datos, priorizando procesos de preparación tecnológica y organizacional. Es fundamental consolidar la captura estructurada de información operativa —incluyendo tiempos de entrega, georreferenciación, volúmenes de operación y desempeño de flota— para asegurar la calidad de los modelos analíticos posteriores. De igual forma, resulta pertinente establecer programas de fortalecimiento del talento interno en analítica, visualización de datos y gestión operativa basada en métricas, favoreciendo una cultura institucional orientada a la toma de decisiones informadas.

En una primera fase, las organizaciones pueden iniciar con herramientas descriptivas y tableros de control, avanzando progresivamente hacia modelos predictivos y de optimización de rutas. La colaboración con universidades, startups tecnológicas y centros de investigación puede acelerar el proceso y reducir barreras de adopción.

Para Instituciones Educativas y Comunidades Académicas

Se propone fortalecer la investigación aplicada en analítica de datos para logística urbana, con especial énfasis en estudios de caso locales y en el desarrollo de modelos que consideren restricciones propias de ciudades colombianas como congestión, topografía, infraestructura vial y regulación de movilidad. Asimismo, es aconsejable promover programas académicos y de formación continua en ciencia de datos aplicada a operaciones logísticas, integrando simulación matemática, técnicas de aprendizaje automático, geointeligencia y herramientas de telemetría.

La articulación entre universidades, empresas y entidades gubernamentales puede consolidar ecosistemas de innovación que permitan validar soluciones en escenarios reales y generar nuevo conocimiento útil para el país.

Para Entidades Gubernamentales y Sector Público

Se recomienda fomentar políticas de digitalización logística urbana, promoviendo el uso de tecnologías de información, sensores, sistemas geospaciales y analítica avanzada como catalizadores de eficiencia y sostenibilidad. Es pertinente impulsar iniciativas que faciliten la interoperabilidad de sistemas, la estandarización de datos y la creación de plataformas colaborativas para el intercambio seguro de información logística entre actores urbanos.

Asimismo, políticas de movilidad urbana que incentiven la entrega sostenible, el uso eficiente de infraestructura y la adopción de vehículos eléctricos o alternativos pueden complementar los avances tecnológicos y contribuir a una última milla más eficiente y ambientalmente responsable.

Recomendación Transversal

De manera transversal, se sugiere promover entornos colaborativos entre sector privado, académico y público para acelerar la adopción de soluciones basadas en datos y garantizar su sostenibilidad. La integración entre innovación tecnológica, formación de talento, regulación adecuada y visión estratégica puede generar impactos positivos en competitividad, eficiencia urbana y experiencia del usuario final.

De manera general, la evidencia revisada indica que la adopción sostenible de analítica en la última milla urbana requiere un equilibrio entre capacidades técnicas, madurez organizacional, políticas públicas habilitantes y ecosistemas de innovación colaborativa. Este enfoque integrado

puede acelerar la transformación del sector y generar mejoras sostenibles en eficiencia, competitividad y calidad del servicio.

En conjunto, las recomendaciones presentadas buscan orientar la adopción progresiva, sostenible y contextualizada de la analítica de datos en la mensajería urbana colombiana, facilitando decisiones operativas más eficientes y fundamentadas en evidencia.

Referencias

- Acurio Masabanda, J. H., & Andrango Guayasamín, R. H. (2021). *Modelo de simulación para la optimización de rutas de transporte de recolección de basura en la ciudad de Latacunga*. Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.
<https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/ciya/article/view/369>
- Ahmed, A., Ahmed, A., Bahuguna, D., Kaur, J., & Singh, B. (2023). *Integración de la inteligencia artificial en la cadena de suministro: una revisión exhaustiva*. Revista Cartas de Economía Europea.
https://www.researchgate.net/publication/372965863_Artificial_Intelligence's_Integration_in_Supply_Chain_Management_A_Comprehensive_Review
- Akerman Ortiz, R. (2023). *Análisis de datos para la optimización de la gestión de flotas vehiculares*. Universidad de Antioquia.
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/a4bbf5db-cb20-425e-8018-b16e9d2dc464>
- Aquino Muñoz, B. R., & Valencia De León, A. D. (2025). *Propuesta de optimización de las rutas de distribución en una empresa de productos de primera necesidad*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/31074>
- Arenas Quispe, M. R., & Reynoso Fernández, L. F. (2013). *Optimización de mensajería interna y externa*. investigacion.utc.edu.ec. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/53b4941b-f2b2-4211-90b6-478cc964fb3f>
- Ávila Castillo, M. A., Obando Gu..., A. M., Trujillo Moreno, S. X., & Ortiz González, Y. C. (2024). *Diseño de una Propuesta para la Implementación de Canales de Distribución y Última Milla en la Plaza de Mercado de Facatativá mediante el Desarrollo de un E-*

Commerce. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/10078>

Boysen, N., Fedtke, S., & Schwerdfeger, S. (2021). Last-mile delivery concepts: A survey from an operational research perspective. *OR Spectrum*, 43(1), 1–58.

<https://doi.org/10.1007/s00291-020-00607-8>

Chen, C., Li, X., & Wang, Y. (2021). A review of travel time prediction methods for intelligent transportation systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(12), 7479–7496. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3002385>

<https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3002385>

De la Cal García, M. (2024). *Aplicación de ciencia de datos en transporte y logística*.

Universidad de Cantabria. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/34648>

Díaz Ramírez, N. M. (2023). *Control y seguimiento digital en última milla*.

repositorio.ecci.edu.co. <https://repositorio.ecci.edu.co/entities/publication/23d47f04-19dd-4455-b6c0-7cb6d5e2dac8>

Flórez Oviedo, N. E., & López Hincapié, E. (2023). *Evolución de la logística de la última milla*.

Revisión de la literatura. (Revista en Scielo).

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59362023000200216

Gevaers, R., Van de Voorde, E., & Vanellander, T. (2014). Cost modelling and simulation of last-mile characteristics in an innovative B2C supply chain environment with

implications on urban areas and cities. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 125,

398–411. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1483>

Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems*

Management (2nd ed.). Wiley.

- Hernández Gobertti, F., Sotelo, R., & Forets, M. (2024). *Algoritmos de optimización para secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla*. Ingenius, revista de ciencia y tecnología.
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2024000100064&lang=en
- Herrera Salgado, M. P. (2024). *Optimización de la logística de última milla en el e-commerce y su impacto en la experiencia del cliente en Bogotá, Colombia*. Universidad del Rosario.
<https://repository.urosario.edu.co/items/70aac1d3-6aea-401f-ad2e-3d7f53d635be>
- Herrera Salgado, M. P. (2024). *Optimización de la logística de última milla en el e-commerce*. Universidad del Rosario. <https://repository.urosario.edu.co/items/70aac1d3-6aea-401f-ad2e-3d7f53d635be>
- Hussen Jimenez, A. D., Retamozo Torres, F. A., García Santos, F., & Ortiz Garcia, M. B. (2025). *Mejora en el proceso de planificación de las unidades logísticas utilizando análisis predictivo en una empresa de última milla en Lima metropolitana*. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção.
<https://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/97496>
- Ibarra-Botelloa, N. F. (2019). *Importancia de la logística de última milla como valor agregado en el comercio electrónico*. Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia.
<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ID/article/view/4309>
- Játiva Macías, A. I., & Meza Moina, F. L. (2024). *Asignación automatizada de rutas a nivel nacional*. ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/63077>
- Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408–416.
<https://doi.org/10.1287/trsc.1090.0301>

- Margineau, G. A. (2024). *Big Data y machine learning para optimización de rutas*. Universidad de La Rioja / UOC. <https://openaccess.uoc.edu/items/330072f2-7827-4268-9ef3-a4f32b8d04b0?locale=ca>
- Miranda Gómez, Á. M., García León, A., & Reigosa Lara, A. (2024). *Desarrollo de soluciones logísticas en la última milla*. identidadbolivariana.itb.edu.ec. <https://identidadbolivariana.itb.edu.ec/index.php/identidadbolivariana/article/view/316>
- Mollá Astrar, F., & Rubio Carrizo, J. (2025). *Simulación y optimización con drones para última milla*. Universidad Complutense de Madrid. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/124063>
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control* (7th ed.). Wiley.
- Nathany, D. (2022). *Artificial Intelligence in Supply Chain: A Comprehensive Analysis of Applications, Impacts, and Future Directions*. IJSREM. <https://ijsrem.com/download/artificial-intelligence-in-supply-chain-a-comprehensive-analysis-of-applications-impacts-and-future-directions/>
- Olguín Villagrán, M. del C., Gómez González, A., & Mata León, I. (2024). *Tendencias tecnológicas y nuevos modelos de negocio en el reparto de la última milla*. *Revista de Investigación Latinoamericana en Competitividad Organizacional*. <https://ojs.eumed.net/rev/index.php/rilco/article/view/14163ogm>
- Patiño Muñoz, D. F. (2025). *Optimización de la cadena de suministro a través de tecnologías emergentes*. UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/67728/dfpatinom.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Pegado Bardayo, A. (2024). *Estrategias predictivas para última milla*. dspace.espol.edu.ec.
<https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/f86c771b-2bf4-4f7f-b08a-9757edf24911/content>
- Peña Guerrero, A., & Pérez España, J. C. (2019). *Diagnóstico actual logística urbana de la ciudad de Bogotá y posibles alternativas de mejora*. UMNG.
<https://hdl.handle.net/10654/32400>
- Restrepo Agudelo, I. D. (2023). *Diseño de un sistema de monitoreo RFID para empresas de envíos de mercancías en última milla en la ciudad de Medellín*.
identidadbolivariana.itb.edu.ec / dspace.tdea.edu.co.
<https://dspace.tdea.edu.co/entities/publication/794f9540-9cba-468c-a984-bdcc51a90959>
- Reyes Morales, N. (2016). *Modelo de optimización de programación de rutas para una empresa logística peruana*. UNMSM.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/12847>
- Rodríguez Vásquez, W. C. (2016). *Sistema experto híbrido para ruteo de mensajería*. U. Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/items/4cb8c386-c1ca-4c43-8479-be392ae92677>
- Rojas Aguirre, J. A., & Castañeda Marín, M. A. (2018). *Optimización de la distribución logística de última milla (DUM)... y su impacto en los costos, en Lima Metropolitana en el 2017*. Universidad Científica del Sur.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USUR_21c46dc015175fd1fe15430f48c083e

- Ruiz Chan, A. S. M., & Yong Lopez, N. D. (2020). *Mejora continua para logística de última milla en retail LATAM*. repository.ucc.edu.co / tesis.pucp.edu.pe.
<https://tesis.pucp.edu.pe/items/ac53abd8-13f0-4c9f-be12-f9c746013ff0>
- Ruiz Chan, A. S. M., & Yong Lopez, N. D. (2021). *Análisis y propuesta de la aplicación de un modelo de Business Intelligence para la toma de decisiones en el servicio de logística de última milla. Caso: Nirex*. (Tesis en repositorio PUCP).
- Ruiz Moreno, S. (2019). *Modelo matemático para la estimación de costos logísticos del transporte de paquetería y mensajería terrestre en Colombia*. UNAL.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76937>
- Ruiz-Moreno, S., Arango-Serna, M. D., Serna-Urán, C. A., & Zapata-Cortes, J. A. (2020). *Modelo matemático para la optimización de la red de distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre*. UNAL / ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/343843333_Modelo_m
- Sánchez Cruz, M. A., & Camarena, J. (2025). *Logística urbana sostenible: soluciones para la última milla en ciudades inteligentes*. Revista O Universo Observavel.
<https://ouniversoobservavel.com.br/logistica-urbana-sostenible-soluciones-para-la-ultima-milla-en-ciudades-inteligentes-doi-10-69720-29660599-2025-000128-panama/>
- Savelsbergh, M., & Van Woensel, T. (2016). City logistics: Challenges and opportunities. *Transportation Science*, 50(2), 579–590. <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0675>
- Tafur Prada, Y. H. (2023). *Transformando la logística militar en Colombia mediante inteligencia artificial*. Revista Código Científico.
<https://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/231>

Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Zhang, J. (2014). Effects of dynamic vehicle routing with real-time information on city logistics. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 125, 473–484. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1486>

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications* (2nd ed.). SIAM.

Zagorsky Sarmiento, D. Y., & Inga Montes, N. K. (2024). *Lean Six Sigma para reducción de costos logísticos en última milla*. UPC.
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/683775>

Apéndices

Apéndice A

Matriz Analítica de los Estudios Incluidos, Parte 1 Información General

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
1	Mejora en el proceso de planificación de las unidades logísticas utilizando análisis predictivo en una empresa de última milla en Lima metropolitana	Ahmad Daniel Hussen Jimenez, Fabiana Angelid Retamozo Torres, Figo García Santos, María Bélen Ortiz Garcia	2025	peru	Artículo científico / estudio aplicado cuantitativo
2	Logística urbana sostenible: soluciones para la última milla en ciudades inteligentes	Melvisanel Sánchez Cruz José Camarena	2025	panama	Artículo científico de revisión y análisis conceptual Cualitativo — descriptivo — revisión documental con análisis comparativo de casos
3	Importancia de la logística de última milla como valor agregado en el comercio electrónico	Nelson Fabián Ibarra-Botelloa	2019	Enfoque internacional	Artículo de revisión bibliográfica / estudio teórico–descriptivo
4	Tendencias tecnológicas y nuevos modelos de negocio en el reparto de la última milla	María Del Carmen Olguín Villagrán, Alfredo Gómez González, Irán Mata León	2024	mexico	Estudio descriptivo, no experimental, basado en revisión de información secundaria y análisis de situación del comercio

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
					electrónico y la última milla en México.
5	Tendencias en estrategias y tecnología aplicadas a la Logística de ciudad. Revisión de literatura.	Javier Arias-Osorio	2025	Unión Europea / Latinoamérica (revisión sobre UE aplicada a logística urbana en AL)	Revisión de literatura (revisión sistemática / estructurada de documentos 2014–2022)
6	Diseño de una Propuesta para la Implementación de Canales de Distribución y Última Milla en la Plaza de Mercado de Facatativá Mediante el Desarrollo de un E-Commerce	Maria Alejandra Avila Castillo, Alison Mayrim Obando Guzmán, Sandra Ximena Trujillo Moreno, Yenith Cristina Ortiz González	2024	Colombia	Estudio de caso aplicado con enfoque mixto, orientado al diseño de una estrategia de distribución y última milla soportada en e-commerce para una plaza de mercado tradicional.
7	Optimización de la logística de última milla en el e-commerce: una revisión de literatura de prácticas innovadoras y su impacto en la experiencia del cliente en Bogotá, Colombia	María Paula Herrera Salgado	2024	Colombia	Revisión sistemática de literatura (2020–2024) con enfoque cualitativo, orientada a identificar prácticas innovadoras de última milla en el e-commerce y su impacto en la experiencia del cliente, aplicada al caso de Bogotá mediante análisis FODA.

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
8	Optimización de la distribución logística de última milla (DUM) de una empresa comercializadora de productos alimenticios aplicando un algoritmo genético multiobjetivo y su impacto en los costos, en Lima Metropolitana en el 2017	Jose Antonio Rojas Aguirre Miguel Angel Castañeda Marín	2018	Peru	Estudio aplicado, cuasi-experimental, de enfoque cuantitativo y alcance correlacional, orientado a evaluar el impacto de la optimización de la distribución de última milla sobre los costos de transporte en una empresa de productos alimenticios.
9	Evolución de la logística de la última milla. Revisión de la literatura	Néstor Eduardo Flórez Oviedo, Estefanía López Hincapié	2023	Colombia	Revisión bibliográfica / revisión de literatura sobre publicaciones 2010-2022 relacionadas con Logística de Última Milla (LUM).
10	Diagnóstico actual logística urbana de la ciudad de Bogotá y posibles alternativas de mejora	Alejandra Peña Guerrero, Juan Camilo Pérez España	2019	Colombia	Diagnóstico descriptivo con revisión documental
11	Modelo matemático para la optimización de la red de	Silvana Ruiz-Moreno, Martín Darío Arango-	2020	Colombia	Artículo científico con formulación y

No	Titulo	Autores	Año	País	Tipo estudio
12	distribución de una empresa de transporte de paquetería y mensajería terrestre Modelo matemático para la estimación de costos logísticos del transporte de paquetería y mensajería terrestre en Colombia	Serna, Conrado Augusto Serna- Urán & Julián Andrés Zapata-Cortes Silvana Ruiz Moreno	2019	Colombia	aplicación de un modelo matemático Tesis de maestría con formulación de modelo matemático aplicado
13	Programación lineal aplicada a la optimización de rutas de transporte en SXR-POLYMERS	Karla Yamileth Terrero Huerta, Rodrigo Compañ Sarmiento, Adamari Camacho Herrera, Hany Alcala Rivera, Anai Cruz Palacios, Génesis Hernández Mazaba, Gilberto Banda Guzmán	2024	mexico	Artículo científico aplicado, estudio de caso cuantitativo en una empresa que optimiza sus rutas
14	Algoritmos de optimización para	Fernando Hernández	2024	Uruguay (aplicación en	Artículo científico experimental en

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
	secuenciación adaptativa de rutas reales en entregas de última milla	Gobertti1, Rafael Sotelo, Marcelo Forets		rutas de EE. UU. y Montevideo)	optimización y aprendizaje automático aplicado a entregas de última milla
15	El impacto de la inteligencia artificial en la logística y en la optimización de rutas de transporte en el Valle de Aburrá para reducir tiempos y costos en las Pymes	Cristian Adolfo Sepúlveda Saldarriaga Cristian Camilo Núñez Pineda	2024	Colombia	Trabajo de grado con enfoque mixto, diseño no experimental de tipo correlacional, aplicado a Pymes del sector logístico y productivo
16	Integración de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro: una revisión exhaustiva	Dr. Abdal Ahmed, Dr. Abdal Ahmed, Durgesh Bahuguna, Jasmeet Kaur, Bharti Singh	2023	India	Artículo de revisión exhaustiva con análisis conceptual y casos de empresas reales
17	Artificial Intelligence in Supply Chain: A Comprehensive Analysis of Applications, Impacts, and Future Directions (Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro: Un Análisis Integral de	Deepika Nathany Banco Interamericano De Desarrollo (BID)	2022	Enfoque global (empresas de distintas regiones)	Artículo científico con enfoque mixto: revisión sistemática de literatura, encuesta a profesionales de supply chain y estudios de caso

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
18	Aplicaciones, Impactos y Direcciones Futuras) Machine Learning's Role in Optimizing Supply Chain Management (El papel del aprendizaje automático en la optimización de la gestión de la cadena de suministro)	Pushkar Mehendale Troy		Estados Unidos con enfoque global	Artículo de revisión teórica y aplicada sobre machine learning en la cadena de suministro
19	La aplicación de Big Data e Inteligencia Artificial en logística y transporte para la optimización de procesos en empresas	Javier Cárdenes Doctor	2022	España	Trabajo de fin de grado, estudio documental con casos de empresa
20	Inteligencia Artificial en la Cadena de Suministro: Estrategias y Aplicaciones Innovadoras Mejora de la	Ying Xu	2024	España	Trabajo final de máster, revisión de literatura con análisis de casos
21	Eficiencia Logística mediante la Implementación Estratégica de la Inteligencia Artificial	Aldo Yair Larios Hernández, María Doren Márque Lozano	2025	Mexico	Artículo científico de revisión documental con análisis de casos

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
22	Transformando la Logística Militar en Colombia mediante Inteligencia Artificial: Innovaciones y Desafíos Aplicaciones, tendencias, problemáticas y retos	Tafur Prada, Yesid Hernando	2023	Colombia	Artículo científico de revisión bibliográfica y análisis temático de casos.
23	de la inteligencia artificial en la logística de distribución	Edwin Arturo Buitrago Mora	2023	Colombia	Artículo de revisión de literatura
24	Optimización de la cadena de suministro a través de tecnologías emergentes	Darío Fernando Patiño Muñoz	2025	Colombia	Monografía de grado / estudio teórico– aplicado con propuesta de marco estratégico.
25	Análisis de datos para la optimización de la gestión de flotas vehiculares: Impacto en los costos operativos y rendimiento empresarial	Ronald Akerman Ortiz Garcia	2023	Colombia	Monografía de especialización en Analítica y Ciencia de Datos, con estudio aplicado a una empresa de transporte de mercancías en Medellín
26	Análisis y propuesta de la aplicación de un modelo de Business Intelligence para la	Ruiz Chan, Ashley Sok Men Yong Lopez, Nathaly Dayana	2021	Peru	Tesis de licenciatura en Gestión con mención en Gestión Empresarial; estudio de caso

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
	mejora de la toma de decisiones en el servicio de logística de última milla. Caso: Nirex				cualitativo aplicado a una empresa de logística de última milla (Nirex)
27	Analítica de datos para optimización de rutas y gestión de flotas (Quick Bogotá)	Jimmy Martínez Daza Didier Lastra Juan Quiroz	2024	Colombia	Proyecto académico de Ingeniería de Sistemas; propuesta de aplicación de analítica de datos y optimización de rutas en una empresa de logística (Quick) Investigación de tipo teórico-contextual y de revisión aplicada: estudio de bibliografía secundaria y casos empíricos documentados sobre la aplicación de la mejora continua de procesos en la logística de última milla en el comercio electrónico de tiendas departamentales.
28	Mejora continua para logística de última milla en retail LATAM	Ruiz Chan, Ashley Sok Men Yong Lopez, Nathaly Dayana	2020	Peru	Trabajo de fin de grado aplicado, estudio empirico basado en
29	Aplicación de ciencia de datos en transporte y logística	Miguel De La Cal García	2024	España	Trabajo de fin de grado aplicado, estudio empirico basado en

No	Titulo	Autores	Año	País	Tipo estudio
30	Big Data y machine learning para optimización de rutas	Gabriel Adrian Margineau	2024	España	Proyecto aplicado de máster, con análisis de datos reales de tráfico urbano, experimentación con algoritmos y desarrollo de modelos de machine learning para optimización de rutas.
31	Desarrollo de soluciones logísticas en la última milla	Álvaro Michael Miranda Gómez1, Andrés García León2, Alejandro Reigosa Lara	2024	Ecuador	Artículo académico de revisión y análisis conceptual aplicado a tendencias, alternativas y estrategias de logística de última milla.
32	Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte	Bermeo Muñoz, Elver A.; Calderón Sotero, Jaime Hernán	2009	Colombia	Artículo científico académico, basado en la formulación matemática del problema de optimización de rutas de transporte y análisis aplicado en contexto urbano.
33	Diseño de un sistema de monitoreo rfid para empresas de envíos de mercancías en última	Ivan Dario Restrepo Agudelo	2023	Colombia	Proyecto aplicado de emprendimiento tecnológico con enfoque cuantitativo y

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
	milla en la ciudad de medellín				estudio de prefactibilidad
34	Diseño de un sistema de soporte de decisiones para resolver el problema de ruteo en un servicio de courier	James Tomalá Robles Johnny Pincay Villa	2010	Ecuador	Trabajo de titulación / estudio aplicado, con desarrollo de modelo computacional y metaheurística para optimizar ruteo en servicios courier.
35	El impacto de la inteligencia artificial en la logística y en la optimización de rutas de transporte en el Valle de Aburrá para reducir tiempos y costos en las Pymes.	Cristian Adolfo Sepúlveda Saldarriaga Cristian Camilo Núñez Pineda	2024	Colombia	Trabajo de investigación aplicada, con enfoque descriptivo–analítico basado en revisión bibliográfica, cuestionario aplicado a empresas, análisis cualitativo y cuantitativo sobre la adopción de IA en PYMES logísticas del Valle de Aburrá.
36	Estrategias predictivas para última milla	Ana Pegado Bardayo	2024	España	Revisión teórica – estudio académico de análisis conceptual y operativo sobre última milla, logística inversa, eficiencia y optimización de transporte urbano.

No	Titulo	Autores	Año	País	Tipo estudio
37	Optimización ruta de entrega con TSP+KP	Raffo Lecca, Eduardo; Ruiz Lizama, Edgar	2005	peru	Artículo académico aplicado con desarrollo de modelo matemático y validación en empresa real (CESER)
38	Modelo de optimización de la red de transporte primario en el sector de alimentos en Colombia	Phd. Hugo Fernando Castro Silva 1, Msc. Marling Carolina Cordero Diaz 2 Ing. Diego José Merchán Fernández	2025	Colombia	Artículo científico con desarrollo de modelo matemático aplicado, basado en programación entera mixta no lineal para optimizar la asignación de vehículos en el transporte primario de una multinacional del sector de alimentos en Colombia.
39	Modelo de optimización de programación de rutas para una empresa logística peruana	Reyes Morales, Norman	2016	Peru	Artículo científico aplicado, que desarrolla y prueba un modelo matemático de optimización usando programación lineal entera y un enfoque FSMVRPTW, comparándolo con el método semi manual real utilizado por la empresa logística.

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
40	Modelo de simulación para la optimización de rutas de transporte de recolección de basura en la ciudad de Latacunga	Jaime Hernán Acurio Masabanda1, Raúl Heriberto Andrango Guayasamín	2021	Ecuador	Investigación aplicada con enfoque cuantitativo, basada en simulación matemática, análisis de redes y uso de sistemas de información geográfica (SIG) para optimizar rutas urbanas de recolección.
41	Optimización de mensajería interna y externa	Maria Rocío Arenas Quispe Lizeth Fiorela Reynoso Fernández	2013	Peru	Tesis de pregrado en Ingeniería Industrial con estudio de caso aplicado en una empresa manufacturera y distribuidora de productos de consumo masivo, enfocada en rediseñar su sistema de mensajería interna y externa.
42	Optimización de rutas con ciencia de datos (UNAD)	Jeins Arturo Velasquez Tolosa	2025	Colombia	Monografía aplicada en empresa real de distribución de repuestos
43	Propuesta de optimización de las rutas de distribución en una empresa de productos de primera	Billy Raúl Aquino Muñoz Anthony Daniel Valencia De León	2025	Ecuador	Trabajo de titulación de Ingeniería Industrial, de enfoque mixto, con diseño no experimental aplicado, nivel

No	Titulo	Autores	Año	País	Tipo estudio
	necesidad mediante la mejora de la gestión logística y la planificación de recursos				descriptivo-correlacional y corte transversal, basado en datos operativos reales de una empresa distribuidora de productos de primera necesidad
44	Propuesta de optimización de las rutas de transporte, en líderes- logística integral	Checa Diaz Jonathan David	2025	Ecuador	Trabajo de titulación / estudio aplicado con optimización logística y simulación
45	Control y seguimiento digital en última milla	Nelly Milena Díaz Ramírez	2023	Colombia	Trabajo de grado aplicado, enfoque cuantitativo con estudios exploratorio, descriptivo y correlacional
46	Lean para reducción de costos logísticos	Zagorsky Sarmiento, Danna Yaruska; Inga Montes, Nayely Keith	2024	peru	Trabajo de suficiencia profesional de pregrado con estudio de caso aplicado en una microempresa de distribución de última milla, orientado al diseño, implementación y validación de un modelo Lean Six Sigma

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
47	Simulación y optimización con drones	Francisco Mollá Astrar Jorge Rubio Carrizo	2025	España	para reducir costos operativos. Trabajo de Fin de Grado de carácter aplicado, basado en simulación computacional de misiones de reparto de última milla con drones, análisis experimental de consumo energético y rendimiento operativo, y desarrollo de una herramienta de apoyo (interfaz) para planificar rutas. Investigación proyectiva / aplicada, en modalidad de tesis de Maestría, orientada a proponer y validar un modelo matemático y un sistema experto híbrido para mejorar la programación, zonificación y diseño de rutas en un servicio de mensajería de documentos,
48	Sistema experto híbrido para ruteo de mensajería	William Camilo Rodríguez Vásquez	2016	Colombia	

No	Título	Autores	Año	País	Tipo estudio
49	Asignación automatizada de rutas a nivel nacional	Alexsander Israel Játiva Macías Frank Leonardo Meza Moina	2024	Ecuador	combinando variantes del VRP (VRPTW, MVRP, VRPD, DVRP) y restricciones de capacidad horaria. Trabajo de titulación de pregrado (Matemático), investigación aplicada y cuantitativa, basada en modelación matemática y optimización de rutas para una empresa pública que visita 3200 manzanas al mes con 7 vehículos y horizonte de 20 días.

Apéndice B

Matriz Analítica de los Estudios Incluidos, Parte 2 Análisis Técnico y Justificativo

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
1	<p>Redes neuronales artificiales (descenso de gradiente)</p> <p>Árboles de decisión y gradient boosting</p> <p>Validación cruzada</p> <p>Tratamiento de outliers tipo AO</p> <p>k-means clustering (con Gap Statistics para elegir número de clusters)</p> <p>Programación lineal (optimización de flota)</p> <p>Algoritmo de asignación de pedidos</p> <p>Análisis predictivo en supply chain</p>	<p>La empresa Scharff usaba solo 26% de la capacidad real de su flota debido a mala asignación, falta de predicción y desbalance de zonas.</p> <p>Tras aplicar modelos predictivos (NN + árboles + clustering + optimización), la utilización aumentó en +54 puntos porcentuales.</p> <p>Se redujo el “daño emergente” en S/ 122 mil mensuales, proveniente de subutilización, mala asignación y exceso de contratación de autos externos.</p> <p>La optimización distribuyó mejor motos, autos, vans y furgones por cluster, mejorando eficiencia y reduciendo tiempos improductivos.</p> <p>El costo logístico total disminuyó en 35,4%, y se</p>	<p>Se incluye porque es un caso latinoamericano real que demuestra cómo técnicas avanzadas de analítica predictiva (redes neuronales, árboles de decisión, clustering y programación lineal) optimizan la planificación operativa en una empresa de última milla. Aporta evidencia cuantitativa robusta sobre mejora de capacidad, reducción de costos y eficiencia logística, elementos fundamentales para el análisis temático de la monografía.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
2	Revisión bibliográfica Análisis comparativo de casos internacionales Triangulación / validación cruzada Consulta indirecta de fuentes primarias (conversatorio sectorial)	equilibró la carga entre transportistas. Identifica siete soluciones para mejorar la última milla en ciudades inteligentes: microhubs, lockers inteligentes, vehículos eléctricos, ciclogística, sistemas de ruteo inteligente, innovaciones disruptivas (robots/drones) y políticas públicas urbanas. Destaca reducciones demostradas: 30–50% de emisiones, 20–44% en distancia recorrida, mejoras operativas y ambientales. Analiza la aplicabilidad para Panamá.	Aporta un marco conceptual completo sobre sostenibilidad y ciudades inteligentes aplicado a la última milla en Panamá, contextualizando soluciones basadas en IoT, movilidad verde y planificación urbana. Complementa los estudios cuantitativos al fortalecer la categoría temática de logística urbana sostenible.
	Revisión bibliográfica narrativa Búsqueda sistemática en: Redalyc, Scielo, Dialnet, OMS, ImpactoTic Análisis crítico de literatura sobre: logística, última milla, drones, comercio electrónico, logística 4.0 Síntesis temática de	La logística de última milla es clave para el valor agregado del e-commerce porque afecta directamente tiempos de entrega, costos y satisfacción del cliente. El artículo muestra que la combinación de logística 4.0 y uso de drones puede reducir tráfico, emisiones de CO ₂ , tiempos de entrega y costos de transporte, a la vez que mejora	Se incluye porque ofrece un marco conceptual detallado sobre la importancia estratégica de la última milla en el comercio electrónico y el potencial de los drones como tecnología disruptiva en logística 4.0. Este artículo refuerza la dimensión tecnológica y ambiental de la última

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	ventajas, problemas urbanos y potencial de los drones en logística	trazabilidad e inventarios y permite llegar a zonas de difícil acceso. Los drones se plantean como complemento de camionetas y furgones para paquetes pequeños y entregas rápidas, dentro de un modelo de distribución urbana más eficiente.	milla, aportando insumos clave para la categoría temática de innovación tecnológica en logística urbana.
	Diseño de investigación descriptivo no experimental. Uso de fuentes secundarias cuantitativas (AMVO 2023, eMarketer, The Logistic World, etc.).	México lidera el crecimiento del comercio electrónico B2C a nivel mundial, lo que tensiona la logística de última milla. La última milla en ciudades latinoamericanas es crítica y costosa por congestión, infraestructura vial deficiente, alta demanda de paquetes pequeños y variabilidad en seguridad y disponibilidad. Las empresas están respondiendo con estrategias como:	Se incluye porque analiza de manera estructurada cómo las tendencias tecnológicas (optimización de rutas, TMS/SGA, logística verde, IA, big data, vehículos autónomos y drones) y los nuevos modelos de negocio están transformando la última milla en un país latinoamericano líder en e-commerce (México). Aporta un marco actual y aplicado sobre retos, oportunidades y estrategias tecnológicas de última milla que se alinea directamente con el enfoque de tu monografía sobre mensajería y
4	Análisis descriptivo de: crecimiento del e-commerce B2C en México y el mundo, factores que afectan la última milla en ciudades latinoamericanas, estrategias de negocio y tecnologías para optimizar la última milla.	optimización de rutas, centros de distribución urbanos (microhubs), logística colaborativa (TMS, SGA), entregas consolidadas,	

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	Sistematización de estrategias tecnológicas y de negocio para la última milla (rutas, microhubs, TMS/SGA, logística verde, IA, big data, vehículos autónomos, drones, etc.).	logística verde, uso de IA, robótica y big data, adopción de tecnologías emergentes (vehículos autónomos, drones, plataformas integradas). La última milla ofrece tanto retos (eficiencia, costos, gestión de inventario) como oportunidades (innovación tecnológica, experiencia del cliente, sostenibilidad). Implementar estrategias de negocio e innovaciones tecnológicas en la última milla: reduce costos de distribución, mejora la satisfacción y lealtad del cliente, fortalece la posición competitiva de las empresas y abre oportunidades para pymes y emprendedores.	logística de última milla urbana, permitiendo comparar el contexto colombiano con un caso latinoamericano avanzado.
5	Revisión bibliográfica en portal especializado citylogistics.info Selección y filtrado de documentos (56 en total) Clasificación cronológica (2014–2021)	El crecimiento del e-commerce obliga a innovar en la logística de ciudad y en la última milla (entregas rápidas, same-day, etc.). Se consolidan estrategias como centros de consolidación urbanos	Se incluye porque sintetiza las tendencias globales de estrategias y tecnologías para logística de ciudad y última milla (CCU, bicicletas de carga, vehículos eléctricos, drones, robots, modelos de

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
6	<p>+ complementos hasta 2022)</p> <p>Clasificación por tipo de documento (revistas, conferencias, reportes de organismos)</p> <p>Análisis temático de tendencias tecnológicas y estratégicas en logística de ciudad y última milla</p> <p>Diagnóstico de cultura organizacional y alineación de la cadena de suministro (modelo de Gattorna, matriz PADI); encuestas de percepción y apropiación de tecnologías basadas en el Marco de Estadísticas</p>	<p>(CCU/micro-hubs), puntos de recogida y bicicletas/vehículos eléctricos de carga.</p> <p>Se identifican tecnologías clave: IoT, sensores, big data, simulación, optimización matemática, vehículos alternativos y autónomos, drones, robots, blockchain.</p> <p>Los estudios muestran que la combinación de medios (camiones + bicis de carga + entregas a pie/robots) mejora costos, tiempos y emisiones.</p> <p>Se señalan retos y oportunidades específicas para adaptar estas soluciones de la UE a ciudades de Latinoamérica.</p> <p>La cultura de los comerciantes mayoristas es flexible y orientada a la oportunidad, pero con fuerte arraigo en prácticas tradicionales e informalidad; existe disposición potencial hacia el e-commerce, aunque predominan el uso de efectivo y la baja experiencia de</p>	<p>optimización, IoT, big data), y señala explícitamente cómo pueden adaptarse a Latinoamérica, aportando un marco conceptual sólido para entender el estado del arte y las oportunidades de investigación que la monografía aborda en el contexto colombiano.</p> <p>Aporta un caso colombiano que integra diagnóstico cultural, percepción tecnológica y diseño de estrategia de última milla soportada en e-commerce; muestra cómo se combinan datos de encuestas, modelos de cultura organizacional e</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
7	<p>de Comercio Electrónico de Colombia (2019); diseño de cadena de valor e indicadores de desempeño en la última milla; planificación preliminar de rutas urbanas con apoyo de mapas digitales.</p> <p>Búsqueda bibliográfica en Scopus y Google Scholar (octubre de 2024); criterios de filtrado por palabras clave en título/resumen/palabras clave (“logistics”, “last mile”, “efficiency”, “e-commerce”); restricción por áreas (Negocios, Economía, Ingeniería); cribado por etapas (597 → 227 → 47 → 16 artículos); bola de nieve hacia adelante y atrás; análisis cualitativo temático en cuatro factores (calidad del servicio, innovaciones</p>	<p>clientes en compras virtuales de alimentos; se identifica un potencial de crecimiento de transacciones (~40%) si se implementa una estrategia de última milla estructurada, con indicadores, rutas y flota adecuados.</p> <p>La eficiencia de la última milla en el e-commerce depende de cuatro dimensiones interrelacionadas: calidad de servicio (entregas a tiempo, trazabilidad en tiempo real, migración a medios de pago digitales), adopción de innovaciones tecnológicas (casilleros inteligentes, vehículos autónomos, crowdshipping, logística 4.0), modelos operativos híbridos y optimizados (integración de modos de transporte, centros de distribución urbana) y gestión de la sostenibilidad en entornos urbanos congestionados. En Bogotá, el</p>	<p>indicadores logísticos para estructurar una propuesta de distribución urbana, lo que lo hace altamente pertinente para un análisis teórico de la mensajería y logística de última milla en Colombia desde la ciencia de datos.</p> <p>Aporta una síntesis reciente y estructurada de las prácticas innovadoras de logística de última milla a nivel internacional (2020–2024) y las aterriza al contexto de Bogotá mediante un análisis FODA. Es clave para tu monografía porque articula logística urbana, e-commerce, experiencia del cliente y sostenibilidad, y porque identifica variables, factores y líneas de acción que pueden ser analizadas y modeladas desde la ciencia de datos en el contexto colombiano.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	tecnológicas, modelos operativos, sostenibilidad) y construcción de un análisis FODA específico para la logística de última milla en Bogotá.	FODA muestra fortalezas ligadas a la creciente demanda y a la disponibilidad tecnológica, pero también debilidades en infraestructura vial, estandarización de direcciones y capacidades de formación, junto con amenazas por congestión, regulación e inestabilidad económica.	
8	Diseño cuasi-experimental con comparación antes/después; uso de datos históricos de distribución de papa congelada (354 días del año 2017); desarrollo de un software prototipo basado en el algoritmo genético multiobjetivo NSGA-II, integrado con Google Maps para la generación y evaluación de rutas; operacionalización de variables (costo total, costo por kg, costo por km, uso de flota);	La planificación empírica de rutas genera ineficiencias significativas en la distribución de última milla. La aplicación del algoritmo genético multiobjetivo NSGA-II, a través del prototipo desarrollado, permite optimizar simultáneamente variables como costo por kg, costo por km y uso de vehículos, obteniendo un ahorro del 28,61% del costo total de distribución (equivalente a S/ 619.728,29) frente a los datos históricos. La prueba t de Student indica diferencias estadísticamente	Es un caso empírico robusto de optimización de última milla mediante algoritmos genéticos multiobjetivo en un contexto urbano latinoamericano (Lima), mostrando cómo el uso de modelos tipo VRP y metaheurísticas (NSGA-II) puede reducir costos logísticos manteniendo el nivel de servicio. Aporta un referente directo para tu monografía al conectar distribución urbana de mercancías, problemas de ruteo, uso de datos históricos y técnicas

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
9	<p>análisis estadístico con prueba t de Student y análisis de correlación lineal (IBM SPSS 21).</p> <p>Búsqueda sistemática en Web of Science (WOS).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Filtro por palabra clave last mile. • Delimitación temporal 2010–noviembre 2022. • Análisis de variables: tipo de documento, autores más productivos, volumen anual de publicaciones, instituciones líderes, áreas económicas, distribución geográfica. • Análisis de tendencias mediante gráficos. <ul style="list-style-type: none"> • Caracterización cronológica de los artículos más citados año por año. 	<p>significativas entre el esquema tradicional y el optimizado, y se encuentra una alta relación lineal directa entre las variables del modelo, validando el impacto del enfoque de optimización en la reducción de costos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explosión de investigación en LUM a partir de 2018 con aceleración por Covid-19 y el auge del e-commerce. • Fuerte impacto de Industria 4.0 (IA, robótica, vehículos autónomos, IoT, big data, 5G). • Crecimiento del uso de vehículos eléctricos, bicicletas, drones y soluciones sostenibles. • Avance de modelos logísticos como crowdsourcing / crowdshipping. • Estados Unidos, China y Europa lideran las publicaciones; Colombia aparece con 20 documentos. • Mayor citación en estudios 	<p>avanzadas de optimización que pueden ser modeladas y analizadas desde la ciencia de datos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proporciona una visión macro, cronológica y evolutiva de la LUM entre 2010–2022, exactamente el período base de tu PRISMA. • Permite contextualizar tendencias, hitos, tecnologías y líneas de investigación que enmarcan tu revisión sobre mensajería y logística urbana en Colombia. • Es clave para sustentar el marco de evolución histórica, tecnológica y metodológica del campo. • Aporta referencias de los estudios más citados que ayudan a validar la relevancia científica del tema, fortaleciendo el

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
10	<p>El estudio utiliza revisión bibliográfica, análisis de políticas públicas, caracterización territorial y análisis descriptivo del flujo de carga urbana en Bogotá basado en información secundaria institucional, así como comparación con casos internacionales de logística urbana sostenible.</p>	<p>sobre sostenibilidad ambiental y empaques verdes.</p> <p>El documento identifica los principales problemas de logística urbana en Bogotá, como congestión, crecimiento acelerado del parque automotor, baja velocidad de circulación de carga, impacto ambiental y ausencia de estrategias integrales. También describe alternativas aplicadas en otras ciudades, incluyendo bicicletas de carga y modelos de consolidación que reducen emisiones y mejoran eficiencia.</p>	<p>sustento teórico de tu monografía.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explica cómo la pandemia transformó la LUM y cómo las innovaciones tecnológicas (IA, drones, vehículos eléctricos) impulsan las investigaciones actuales, alineadas con tu enfoque en optimización, analítica y tecnologías aplicadas a la LUM en Colombia. <p>Este documento se incorpora al análisis porque ofrece un diagnóstico detallado y actualizado de las condiciones de la logística urbana en Bogotá, ciudad que constituye el principal referente nacional en términos de movilidad de carga, congestión y dinámicas de última milla. Su contenido permite contextualizar los retos operativos y ambientales que enfrentan los sistemas de mensajería y</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
11	El estudio emplea un modelo matemático de asignación de clientes a instalaciones basado en el concepto de p-mediana y en la modificación del factor de carga de los vehículos para optimizar la red de distribución. El modelo incorpora 200 clientes, 4 terminales centrales y 10 plataformas satélite,	El artículo demuestra que mediante la modelación matemática de la red de distribución es posible reducir en aproximadamente 19% los costos totales de operación en empresas de mensajería y paquetería. El análisis evidencia que las redes logísticas presentan alta complejidad debido al número de clientes, instalaciones y restricciones, y que la asignación óptima de	distribución en entornos densamente urbanizados, y aporta fundamentos empíricos y normativos necesarios para comprender las limitaciones estructurales que afectan la eficiencia logística, además de presentar alternativas de mejora implementadas en otras ciudades que resultan pertinentes para el estudio de la distribución urbana de mercancías en Colombia. Se incorpora este documento porque aporta una fundamentación técnica y matemática de alta relevancia para comprender cómo la optimización de redes de distribución puede mejorar la eficiencia operativa en empresas de paquetería y mensajería. El estudio ofrece una formulación aplicable al contexto colombiano, aborda

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	<p>estructurando una red tipo Hub and Spoke representativa del sector y permitiendo asignar carga y clientes de manera óptima dentro de la red.</p>	<p>recursos permite mejorar eficiencia, competitividad y niveles de servicio. También se confirma que la estructura Hub and Spoke es predominante en el sector y que la demanda variable, la congestión urbana y la necesidad de rutas eficientes afectan el desempeño logístico.</p>	<p>variables críticas como demanda, infraestructura, vehículos y carga, y demuestra empíricamente la reducción de costos mediante asignación óptima de clientes y mercancías. Su contenido es pertinente para la comprensión de la estructura logística real del sector y para sustentar la importancia de modelos de optimización en la distribución urbana.</p>
12	<p>El estudio desarrolla una revisión exhaustiva de modelos matemáticos empleados para cuantificar y optimizar costos logísticos en empresas de mensajería y paquetería. Posteriormente formula un modelo propio que integra análisis de redes de transporte, estructura Hub and Spoke, costos asociados a nodos y</p>	<p>El documento demuestra que los costos logísticos del transporte de paquetería dependen de múltiples elementos como rutas, distancias, tiempos, capacidades de los vehículos y actividades logísticas asociadas a nodos. El análisis evidencia que los modelos de costos tradicionales suelen ignorar costos externos o variables estocásticas, lo que reduce su precisión. Por ello, se plantea un modelo integral</p>	<p>Se incorpora este documento porque presenta un análisis riguroso y detallado de los modelos de costos logísticos empleados en el transporte de paquetería, junto con una formulación matemática aplicable al contexto colombiano. Su enfoque integra estructura de red, costos directos e indirectos, restricciones operativas y dinámicas reales de la mensajería, lo</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
13	<p>transporte, y componentes estocásticos de la operación. La metodología incluye identificación de modelos relevantes, clasificación por ventajas y aplicabilidad, caracterización operativa de empresas colombianas y construcción de un modelo de costos basado en la estructura real observada.</p> <p>Se formula y aplica un modelo de programación lineal tipo problema de transporte, orientado a minimizar el costo total de distribución considerando oferta, demanda, costos por ruta y restricciones de capacidad. El modelo se alimenta con datos reales de la empresa (costos de traslado,</p>	<p>que contempla rutas capilares y troncales, tres niveles de red, nodos de consolidación y actividades de envío y recogida, permitiendo estimar el impacto monetario de los componentes logísticos y mejorar la toma de decisiones.</p> <p>El estudio muestra que la programación lineal permite diseñar rutas de entrega más eficientes, reduciendo costos logísticos en un contexto con variaciones de demanda, oferta y costos. Se resalta la importancia de analizar detalladamente cada eslabón de la cadena de suministro y de utilizar modelos matemáticos y software de optimización para disminuir el número de vehículos, la</p>	<p>cual aporta fundamentos sólidos para comprender los factores que determinan los costos de la última milla y las limitaciones operativas del sector urbano.</p> <p>Se incluye porque ofrece un ejemplo concreto de optimización de rutas mediante programación lineal en una red de distribución empresarial, alineado con el interés de evaluar técnicas cuantitativas para mejorar la eficiencia en la logística de transporte y última milla. Aporta base metodológica para el uso de modelos matemáticos</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
14	<p>volúmenes a despachar y estructura de la red) y se resuelve mediante técnicas de optimización para identificar combinaciones de rutas más eficientes.</p> <p>Se diseña una metodología que combina técnicas de aprendizaje automático supervisado con algoritmos exactos y aproximados para la secuenciación de paradas en rutas de última milla. Se construyen matrices de costos personalizadas que integran modelos de tiempo de viaje, distancia y relaciones entre paradas, y se utilizan metaheurísticas, heurísticas refinadas y regresión personalizada para seleccionar combinaciones de técnicas según</p>	<p>distancia recorrida y los tiempos de viaje, mejorando la gestión de flota.</p> <p>El estudio demuestra que las matrices de costos personalizadas y la combinación adaptativa de algoritmos permiten obtener resultados competitivos en el Last-Mile Routing Research Challenge (LMRRC) con rutas de EE. UU. y mantener desempeños similares en casos reales de rutas de última milla en Montevideo. Se evidencia que es posible mejorar enfoques tradicionales de enrutamiento, incrementando la precisión en la secuenciación de paradas y la capacidad de generalizar soluciones a diferentes contextos geográficos.</p>	<p>en la toma de decisiones sobre rutas, asignación de vehículos y costos, lo cual es coherente con el enfoque analítico de la monografía sobre mensajería y optimización logística.</p> <p>Se incluye por ser un referente reciente de alto nivel en optimización de última milla que integra aprendizaje automático y algoritmos de ruteo, alineado con el interés de analizar técnicas avanzadas de enrutamiento. Aporta un marco conceptual y metodológico sobre cómo combinar modelos de predicción y metaheurísticas para secuenciar rutas reales, lo que fortalece la base teórica de la monografía en temas de IA, analítica y optimización de rutas de mensajería.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
15	<p>características geométricas y geográficas de cada ruta.</p> <p>Se desarrolla una investigación de enfoque mixto que combina revisión bibliográfica sobre aplicaciones de inteligencia artificial en logística con un estudio de campo en Pymes del Valle de Aburrá. Se utiliza un diseño no experimental correlacional, apoyado en encuestas parcialmente estructuradas aplicadas a empresas del sector, análisis descriptivo de las respuestas, exploración de relaciones entre uso de herramientas de IA y variables de desempeño logístico (tiempos de entrega, costos, eficiencia operativa) y</p>	<p>El estudio encuentra que la adopción de herramientas de inteligencia artificial en la logística y en la planificación de rutas se asocia con mejoras en tiempos de entrega, reducción de costos logísticos y mayor control sobre las operaciones, aunque la implementación en Pymes es aún limitada por factores como falta de conocimiento especializado, costos de inversión y dificultades de integración tecnológica. Se concluye que la IA ofrece un potencial significativo para optimizar la logística en el Valle de Aburrá, pero su aprovechamiento requiere estrategias de adopción gradual, capacitación y acompañamiento tecnológico para las Pymes.</p>	<p>Se incluye porque aborda de manera directa el impacto de la inteligencia artificial sobre la logística y la optimización de rutas en un contexto urbano colombiano, similar al interés por la mensajería y la última milla. Ofrece evidencia empírica en Pymes sobre beneficios, barreras y efectos de la IA en tiempos y costos, lo cual complementa el enfoque de la monografía al aportar una perspectiva regional y aplicada sobre la incorporación de tecnologías avanzadas en la gestión de la distribución.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
16	<p>contraste cualitativo de percepciones sobre beneficios y barreras de adopción.</p> <p>El estudio realiza una revisión exhaustiva de fuentes secundarias (artículos académicos, reportes de industria, estudios de caso) para analizar el papel de la inteligencia artificial en la gestión de la cadena de suministro. Emplea búsqueda sistemática por palabras clave, análisis de literatura sobre aplicaciones, beneficios, desafíos y tendencias, y complementa con casos de empresas como Walmart, Amazon, UPS, Maersk, Zara y Nestlé, donde se describen implementaciones reales de IA en pronóstico de demanda, inventarios, logística,</p>	<p>El artículo concluye que la IA tiene un papel transformador en la cadena de suministro al mejorar la planificación, la visibilidad, la automatización de almacenes, la optimización del transporte, la selección de proveedores, la gestión de riesgos y la toma de decisiones basada en datos. Se resalta que la IA potencia la eficiencia operativa, la reducción de costos y la satisfacción del cliente, pero plantea desafíos en términos de calidad de datos, integración tecnológica, sesgos algorítmicos, privacidad, explicabilidad y necesidad de colaborar entre humanos y sistemas de IA. Se identifican tendencias como la integración con IoT y blockchain, el uso de analítica predictiva/prescriptiva y el</p>	<p>Se incluye porque proporciona una visión panorámica y actualizada de las aplicaciones de IA en la cadena de suministro, organizadas por procesos (planificación, visibilidad, almacén, transporte, proveedores, riesgo, mantenimiento, servicio al cliente) y complementadas con ejemplos de grandes empresas. El artículo permite fundamentar tanto beneficios como riesgos y aspectos éticos de la IA en logística, lo que enriquece el marco conceptual de estudios sobre última milla y mensajería al incorporar elementos de planificación integral, visibilidad, colaboración y responsabilidad en el uso de tecnologías avanzadas.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
17	<p>visibilidad y gestión de riesgos.</p> <p>El estudio aplica una revisión sistemática de literatura (2015–2021) combinada con encuestas estructuradas a profesionales de cadenas de suministro y estudios de caso en organizaciones que han implementado IA.</p> <p>Utiliza análisis bibliométrico, análisis de contenido cualitativo, estadística descriptiva, regresiones y modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM) para evaluar relaciones entre ventajas tecnológicas, colaboración en la cadena, incertidumbre ambiental, adopción de IA y desempeño/resiliencia de la cadena de suministro.</p>	<p>énfasis creciente en consideraciones éticas.</p> <p>Se demuestra que la inteligencia artificial mejora de manera significativa el desempeño de la cadena de suministro en funciones como pronóstico de demanda, gestión de inventarios, optimización logística, gestión de riesgos y sostenibilidad, con reducciones promedio de costos logísticos del orden del 15 %, aumento del giro de inventarios del 35 % y mejoras en niveles de servicio del 65 %. El estudio identifica como impulsores de la adopción de IA las ventajas tecnológicas percibidas, la necesidad de colaboración y la incertidumbre del entorno, y evidencia barreras asociadas a calidad de datos, integración, brechas de habilidades, costos de implementación y resistencia organizacional.</p>	<p>Se incluye porque ofrece un análisis integral y cuantitativo del impacto de la IA en la cadena de suministro, respaldado por evidencia empírica y revisión sistemática. El trabajo permite comprender qué funciones logísticas se benefician más de la IA, cuáles son los efectos en costos, niveles de servicio, resiliencia y sostenibilidad, y qué factores impulsan o frenan su adopción; esto aporta fundamentos conceptuales y métricos para contextualizar el uso de IA, analítica y optimización en operaciones logísticas y de última milla en contextos empresariales reales.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
18	<p>El trabajo desarrolla una revisión de literatura sobre el uso de técnicas de machine learning en la gestión de la cadena de suministro, organizando las aplicaciones en cuatro grandes bloques: pronóstico de demanda, gestión de inventarios, optimización logística y gestión de riesgos. Se describen en detalle técnicas como support vector regression, redes neuronales y modelos híbridos para pronóstico; aprendizaje por refuerzo y deep learning para inventarios; algoritmos genéticos y deep reinforcement learning para ruteo y transporte; y analítica predictiva y detección de anomalías para la gestión de riesgos.</p>	<p>El artículo concluye que el machine learning transforma la cadena de suministro al permitir pronósticos más precisos, políticas de inventario adaptativas, ruteo dinámico en tiempo real y detección temprana de riesgos, generando mejoras en eficiencia, reducción de costos, menores quiebres de stock y mayor resiliencia. Se resaltan también los retos de calidad y disponibilidad de datos, interpretabilidad de los modelos y dificultades de integración con sistemas existentes, así como tendencias futuras como aprendizaje federado, transferencia de aprendizaje y combinación con IoT y blockchain.</p>	<p>Se incluye porque ofrece un marco conceptual claro y actualizado sobre el papel del machine learning en la optimización de la cadena de suministro, detallando técnicas específicas y su aplicación en pronóstico, inventarios, logística y riesgos. El contenido sirve para fundamentar técnicamente el uso de modelos de ML en la optimización de rutas y decisiones logísticas, y para contextualizar desafíos de datos, explicabilidad e integración que también enfrentan las organizaciones que operan en logística urbana y última milla.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
19	<p>Revisión cualitativa del marco teórico sobre Big Data, Inteligencia Artificial e Inteligencia Empresarial aplicadas a la cadena de suministro, complementada con un análisis inductivo de tres estudios de caso (Amazon, El Corte Inglés y Walmart) a partir de artículos, informes corporativos y fuentes secundarias especializadas.</p> <p>Estudio basado en revisión exhaustiva de literatura científica sobre IA en la cadena de suministro, con diseño metodológico orientado a análisis de impactos de aprendizaje automático, análisis predictivo e IoT, combinando análisis cuantitativo de estudios y discusión de casos sectoriales para evaluar eficiencia, resiliencia y</p>	<p>Evidencia que Big Data e IA, integradas en sistemas de Business Intelligence y en la automatización de la cadena de suministro, permiten transformar grandes volúmenes de datos en decisiones estratégicas que optimizan recursos, tiempos de entrega, errores y costes logísticos y de transporte en empresas líderes globales.</p> <p>Demuestra que la IA mejora la toma de decisiones, la previsión de la demanda, la gestión de inventarios, la transparencia y la sostenibilidad de las cadenas de suministro, incrementando la eficiencia operativa y la resiliencia frente a disrupciones, pero también identifica barreras asociadas a inversión tecnológica, integración con sistemas existentes, cambio</p>	<p>Se incluye porque ofrece una base conceptual y aplicada sobre el uso de Big Data e IA en logística y transporte, apoyada en casos reales de grandes operadores, lo que aporta referentes tecnológicos y de gestión directamente vinculados a la optimización de procesos logísticos analizada en la monografía sobre mensajería y última milla.</p> <p>Se incluye porque proporciona una visión integral y muy reciente del papel de la IA en la transformación de las cadenas de suministro, incorporando dimensiones de eficiencia, riesgo y sostenibilidad, lo que refuerza el marco teórico de la monografía sobre uso de analítica e IA en logística urbana y operaciones de última</p>
20			

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
21	<p>sostenibilidad en Supply Chain Management.</p> <p>Investigación de tipo documental que revisa literatura, tesis, artículos y reportes sobre IA aplicada a logística, complementada con análisis narrativo de casos de empresas como Amazon, DHL y Tesla para caracterizar usos de algoritmos de aprendizaje automático, análisis predictivo y automatización en rutas, inventarios y almacenes.</p>	<p>organizacional y riesgos laborales y éticos.</p> <p>Concluye que la implementación estratégica de la IA mejora significativamente la eficiencia logística al optimizar rutas con datos en tiempo real, gestionar inventarios de forma predictiva, automatizar procesos de almacén y apoyar decisiones proactivas, generando ventajas competitivas, aunque su viabilidad depende de recursos, inversión inicial y capacidades de capacitación en cada empresa.</p>	<p>milla en el contexto colombiano.</p> <p>Se incluye porque es un artículo latinoamericano reciente centrado en la eficiencia logística mediante IA, que sintetiza beneficios, retos y pasos de implementación, aportando evidencia actualizada y cercana sobre la aplicación de IA en rutas, inventarios y centros de distribución, coherente con el enfoque aplicado de la monografía en mensajería y logística de última milla.</p>
22	<p>El estudio adopta un enfoque cualitativo de revisión bibliográfica, basado en la recopilación y análisis de literatura académica, informes técnicos y estudios de caso sobre inteligencia artificial aplicada a la logística militar. La búsqueda se</p>	<p>El artículo evidencia que la IA está comenzando a transformar la logística militar en Colombia, principalmente a través de sistemas autónomos y robótica para apoyo logístico en la última milla, el uso de análisis predictivo y big data en la planificación logística, y la integración de IA en la</p>	<p>Se incluye porque ofrece una perspectiva aplicada sobre el uso de IA en un entorno logístico crítico — el ámbito militar colombiano— que permite extrapolar aprendizajes sobre trazabilidad, asignación de recursos y logística predictiva hacia contextos civiles de</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	<p>realiza en bases de datos como JSTOR, Scopus y Google Scholar, además de documentos de instituciones militares y publicaciones especializadas en defensa, priorizando trabajos de los últimos diez años. Se aplican criterios de inclusión centrados en aplicaciones de IA en logística militar y se excluyen textos que no cumplan con el rigor académico o no aborden directamente el tema. La información se organiza mediante análisis temático en tres grandes bloques: innovaciones de IA en logística militar, desafíos operativos y técnicos, y consideraciones éticas y de ciberseguridad.</p>	<p>gestión de la cadena de suministro militar. Al mismo tiempo, identifica experiencias internacionales como el proyecto Autonomous Last Mile Resupply (ALMRS) en el Reino Unido y las vincula con desarrollos locales en robótica militar para detección de explosivos. Entre los desafíos, resalta la necesidad de integrar estos sistemas con infraestructuras y doctrinas existentes, garantizar una ciberseguridad robusta, gestionar dilemas éticos y adaptar el personal militar a nuevas competencias tecnológicas. El análisis concluye que una adopción estratégica y responsable de la IA puede incrementar significativamente la eficiencia, seguridad y efectividad de las operaciones logísticas militares, siempre que se acompañe de marcos de gobernanza, formación y</p>	<p>mensajería y última milla. El documento complementa la revisión sobre cadena de suministro e IA al mostrar cómo la adopción de sistemas autónomos, analítica de datos y modelos predictivos exige abordar también ciberseguridad, ética y capacitación del personal, elementos que resultan relevantes para diseñar soluciones de última milla más seguras, resilientes y responsables en entornos urbanos.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
		protección de datos adecuados.	
23	Desarrolla una revisión de carácter exploratorio–descriptivo, con diseño no experimental, basada en la consulta de literatura académica sobre inteligencia artificial aplicada a la logística de distribución. La metodología se estructura en etapas de recolección, sistematización, análisis de información y síntesis de conclusiones, con criterios temáticos, geográficos y temporales explícitos. A partir de un conjunto depurado de referencias, el estudio clasifica los contenidos en cuatro categorías analíticas: aplicaciones, problemáticas, tendencias y retos de la	El artículo concluye que la IA ya cuenta con un abanico amplio de aplicaciones en la logística de distribución, incluyendo optimización de rutas, gestión de inventarios, procesamiento de pedidos, planificación de la producción y apoyo a la toma de decisiones autónomas, lo que se traduce en mayores niveles de eficiencia y rentabilidad. Sin embargo, identifica problemáticas relevantes, como la complejidad y dinamismo de las redes de distribución, la sensibilidad a los tiempos de almacenamiento, la necesidad de inversiones significativas en tecnología y capacitación, y el riesgo percibido de desplazamiento laboral y deterioro de la calidad de vida por la tecnificación de los empleos. En cuanto a tendencias y retos, resalta la transición hacia modelos	Se incluye porque ofrece un estado del arte específico sobre inteligencia artificial en logística de distribución, con una estructura de análisis por aplicaciones, problemáticas, tendencias y retos que resulta directamente transferible al estudio de la mensajería y la última milla. El documento permite sustentar conceptualmente el papel de la IA en la optimización de rutas, inventarios y procesos de distribución urbana, al tiempo que aporta una discusión crítica sobre impactos laborales, inversión tecnológica y necesidad de regulación, aspectos clave para contextualizar el uso de analítica e IA en servicios de mensajería de última milla en Colombia.

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	IA en la logística de distribución, cuantificando el porcentaje de autores que aportan a cada categoría.	como las dark stores, la integración de IA con blockchain para mejorar transparencia y trazabilidad, y la urgencia de marcos éticos y regulatorios que equilibren innovación tecnológica y protección de los derechos laborales y humanos.	
24	El trabajo utiliza una revisión documental amplia sobre inteligencia artificial, Internet de las Cosas y automatización en la cadena de suministro, combinada con el análisis de casos de empresas líderes como Amazon, DHL, UPS, Maersk y Zara. A partir de esta base, desarrolla un análisis crítico de beneficios, desafíos y efectos en competitividad, y formula un marco estratégico y una “hoja de ruta” para la adopción de tecnologías	La monografía muestra que la integración de IA, IoT y automatización transforma de manera estructural la cadena de suministro, al mejorar la toma de decisiones predictivas, la visibilidad y trazabilidad en tiempo real, y la eficiencia de procesos repetitivos. Destaca que la IA aporta capacidades de análisis predictivo para anticipar demanda y riesgos; el IoT genera datos en tiempo real que aumentan el control operativo; y la automatización reduce errores, tiempos de operación y riesgos de seguridad laboral mediante robots y sistemas automáticos de almacenamiento y picking.	Se incluye porque articula de manera integrada el rol de la IA, el IoT y la automatización en la cadena de suministro, ofreciendo un marco conceptual y estratégico útil para comprender cómo estas tecnologías pueden aplicarse en la optimización de la logística de última milla y los servicios de mensajería. El documento aporta ejemplos empresariales relevantes, discute beneficios y desafíos de la adopción tecnológica y propone lineamientos para la implementación

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
25	<p>emergentes en logística industrial. El enfoque metodológico es esencialmente cualitativo, basado en síntesis teórica y estudio de casos, complementado con un modelo de implementación que organiza etapas como diagnóstico, selección de tecnologías, integración con sistemas existentes, gestión del cambio, monitoreo por KPIs y evaluación de impacto.</p> <p>Se aplica un enfoque analítico–cuantitativo basado en la metodología CRISP–DM para estructurar el proyecto de minería de datos. Se trabaja con un conjunto de datos reales de una empresa de transporte en Medellín, realizando comprensión del negocio,</p>	<p>También identifica beneficios en competitividad, resiliencia y sostenibilidad, pero advierte desafíos como la inversión inicial, la resistencia organizacional al cambio, la falta de estándares de interoperabilidad y la necesidad de programas de capacitación y gestión del talento. Finalmente, concluye que, pese a estas barreras, las empresas que implementan estas tecnologías de forma estratégica logran optimizar su logística y posicionarse mejor en mercados globales.</p> <p>El estudio evidencia que existe una relación significativa entre los costos operativos de la flota y diversas variables explicativas extraídas del histórico de operación. Las técnicas estadísticas y los modelos de regresión permiten predecir costos y gastos, mostrando que la implementación de herramientas basadas en</p>	<p>escalonada de soluciones basadas en datos, todo lo cual fortalece la fundamentación teórica y práctica de un estudio sobre mensajería urbana y optimización de rutas en el contexto de la Industria 4.0.</p> <p>Se incluye porque constituye un ejemplo concreto y reciente de aplicación de analítica de datos a la gestión de flotas de transporte de mercancías en Colombia, utilizando la metodología CRISP–DM y modelos de regresión para predecir costos operativos. El documento aporta un</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
26	<p>exploración y limpieza de datos, análisis estadístico descriptivo, identificación de relaciones entre variables y construcción de modelos de regresión para predecir costos y gastos de la flota. Los modelos se evalúan mediante métricas de desempeño como MSE, RMSE, MAE y R², con énfasis en la robustez y validez de las predicciones.</p> <p>Se desarrolla un estudio de caso con enfoque cualitativo y alcance descriptivo, basado en la combinación de revisión de literatura sobre Business Intelligence, logística de última milla y comercio electrónico, y un trabajo de campo con entrevistas semiestructuradas y abiertas. Se realizan 15</p>	<p>análisis de datos contribuye a mejorar el rendimiento y la eficiencia en la gestión de flotas vehiculares. Se resalta que el análisis sistemático de datos permite pasar de decisiones empíricas a decisiones más informadas y cuantificadas, con impacto directo en la planificación, el control de costos y la optimización logística.</p> <p>El trabajo diagnostica problemas de dispersión de la información, ausencia de indicadores integrados y dependencia de reportes manuales en la operación de última milla de Nirex. A partir de este diagnóstico y de las necesidades de los usuarios, se definen indicadores de desempeño para las entregas, se diseña un modelo dimensional alineado con el proceso operativo de</p>	<p>referente metodológico sólido sobre cómo estructurar un proyecto de análisis de datos en transporte terrestre, directamente relacionado con la eficiencia logística y la toma de decisiones basada en datos, lo que resulta pertinente para fundamentar estudios sobre optimización de operaciones y costos en la logística de última milla y la mensajería urbana.</p> <p>Se incluye porque representa un caso aplicado de diseño de arquitectura de Business Intelligence centrada en logística de última milla en un contexto latinoamericano de e-commerce. El documento aporta ejemplos concretos de levantamiento de requerimientos de información, definición de indicadores, diseño de</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	entrevistas en total: nueve a actores internos de Nirex para levantar necesidades de información, cuatro a expertos en BI y dos adicionales para validación de la propuesta. A partir de esta información, se aplica la metodología de Ralph Kimball para diseñar un modelo dimensional y un proceso ETL, se desarrolla un Data Warehouse orientado a operaciones de última milla y se propone un dashboard en Power BI con indicadores clave para el área de operaciones.	logística de última milla y se plantea un flujo ETL y un dashboard que consolidan información en tiempo casi real. La tesis concluye que un modelo de Business Intelligence específicamente orientado a la última milla mejora la calidad, oportunidad y accesibilidad de la información para la toma de decisiones, y constituye una base para incrementar la eficacia y la eficiencia de la operación en un contexto de fuerte crecimiento del comercio electrónico.	modelo dimensional, proceso ETL y construcción de dashboard para la operación de entregas, elementos que son directamente aprovechables para fundamentar propuestas de analítica, indicadores y soporte a la decisión en estudios sobre mensajería y última milla en entornos urbanos.
27	El documento plantea una metodología de proyecto para aplicar analítica de datos a la optimización de rutas y la gestión de flotas en la empresa Quick. La	Al tratarse de un proyecto en fase de formulación, el documento no presenta resultados numéricos finales, sino que formula y justifica el problema de rutas subóptimas, tiempos de	Se incluye porque ofrece un marco metodológico y técnico explícitamente enfocado en una empresa de mensajería y logística en Bogotá, integrando analítica de datos,

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	<p>propuesta incluye la definición de objetivos y métricas, la identificación y recopilación de datos relevantes (registros de GPS, datos de tráfico en tiempo real, historiales de entrega y mantenimiento), el análisis exploratorio de datos para identificar patrones y variables clave, el diseño de modelos analíticos como algoritmos de optimización de rutas, modelos de pronóstico de tráfico y modelos de gestión de flota, la validación de dichos modelos con datos históricos y la implementación en forma de sistemas de gestión de rutas, paneles de control en tiempo real y aplicaciones móviles para conductores. Se plantea,</p>	<p>entrega prolongados, congestión y altos costos operativos y ambientales en Quick. El trabajo concluye que la analítica de datos, combinada con datos históricos y en tiempo real, puede apoyar la optimización de rutas y la gestión de flotas, contribuyendo a reducir tiempos de entrega, mejorar la puntualidad, disminuir emisiones y aumentar la eficiencia general de la operación. Se presenta un plan de trabajo que estructura la incorporación de modelos analíticos y herramientas tecnológicas en la empresa.</p>	<p>optimización de rutas y diseño de arquitectura de software. El documento proporciona una referencia cercana sobre cómo estructurar un proyecto de analítica aplicada a la última milla en el contexto colombiano, lo que contribuye a fundamentar metodologías, uso de datos y enfoque tecnológico en estudios sobre mensajería urbana y optimización de operaciones de distribución.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
28	<p>además, una arquitectura de software y un prototipo web para integrar estas soluciones en la operación diaria.</p> <p>El estudio emplea la revisión sistemática de literatura teórica, normativa y de estudios de caso, combinada con análisis conceptual de la cadena de suministro, la logística de última milla y la mejora continua de procesos. Utiliza herramientas clásicas de mejora continua como la gestión por procesos, diagramas de flujo, matriz de priorización de problemas, diagrama de Ishikawa y el análisis de casos que aplican metodologías como DMAIC, seguimiento en línea (tracking) y construcción de indicadores (KPI) para diagnosticar cuellos de botella y diseñar</p>	<p>El estudio concluye que la logística de última milla en el retail latinoamericano enfrenta problemas de coordinación con operadores tercerizados, rutas ineficientes, entregas fallidas y altos costos, y que el enfoque de mejora continua de procesos permite mapear con detalle el flujo logístico, identificar causas raíz de las fallas y diseñar intervenciones basadas en herramientas como Ishikawa, matrices de priorización y sistemas de tracking en línea. Se evidencia que la aplicación sistemática de estas herramientas mejora indicadores de servicio como la satisfacción del cliente y la reducción de entregas fallidas, y que Latinoamérica está rezagada frente a Europa y</p>	<p>Este trabajo es clave para tu monografía porque articula directamente logística de última milla, comercio electrónico y mejora continua de procesos en el contexto latinoamericano de tiendas departamentales, que es muy comparable a la realidad colombiana. Ofrece un marco teórico sólido, un análisis contextual de la región y ejemplos concretos de cómo la mejora continua se aplica para resolver fallas operativas en la última milla, lo que refuerza tu enfoque sobre optimización y gestión analítica de la mensajería y logística urbana.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
29	<p>soluciones en la última milla.</p> <p>El estudio aplica técnicas de minería de datos como clustering, árboles de decisión y reglas de asociación, integradas dentro de la metodología CRISP-DM. Estas técnicas permiten caracterizar rutas, discretizar atributos logísticos, identificar patrones operativos y analizar la calidad y comportamiento de los datos provenientes del sistema de planificación de rutas de una empresa de transporte.</p>	<p>Estados Unidos, pero con amplio potencial de mejora si adopta mejores prácticas.</p> <p>Se encontró que los datos logísticos presentan patrones operativos detectables, como variaciones en rutas según día de la semana, diferencias entre pedidos vacíos y no vacíos, inconsistencias en la calidad de los registros y relaciones fuertes entre ciertos atributos que explican decisiones de planificación.</p> <p>Las reglas de asociación reflejan la lógica real de la empresa para asignar rutas y se identificaron oportunidades para mejorar la calidad de los datos y el potencial de un futuro sistema recomendador.</p>	<p>El estudio aporta evidencia concreta sobre cómo la ciencia de datos permite comprender y optimizar la logística de última milla a partir del análisis de rutas, decisiones operativas y patrones de movilidad. Su enfoque metodológico y técnico complementa directamente la monografía, mostrando cómo el análisis de datos puede mejorar procesos logísticos, reducir ineficiencias y fundamentar decisiones basadas en evidencia.</p>
30	<p>El estudio utiliza análisis Big Data basados en datos GPS de acceso libre, procesamiento masivo de datos, creación de mapas de calor por ubicación y hora,</p>	<p>Se identificaron zonas horarias y geográficas con alta congestión mediante mapas de calor. Los datos permitieron descubrir patrones diarios y semanales del comportamiento del tráfico. Los algoritmos</p>	<p>Es relevante para tu monografía porque demuestra cómo los métodos Big Data y los algoritmos de optimización se integran para mejorar rutas urbanas en tiempo real, un</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
31	<p>análisis exploratorio mediante QGIS, herramientas como OSRM y OpenStreetMap para el modelado de nodos y vías, además de la aplicación de algoritmos de machine learning e inteligencia artificial orientados a predicción de tráfico y optimización de rutas. Emplea algoritmos inspirados en Dijkstra, ACO y ABC para comparar trayectorias, proponiendo modelos capaces de reducir congestión y prever condiciones del tráfico.</p> <p>El estudio emplea un análisis documental y comparativo de literatura especializada, informes técnicos y casos reales, integrando revisión de tendencias, análisis conceptual de alternativas logísticas,</p>	<p>aplicados mostraron diferencias en precisión y velocidad para determinar rutas cortas o rápidas: ACO resultó más sensible al número de parámetros, ABC se comportó como un método más estable y Dijkstra permitió aproximaciones sólidas. La utilización de datos abiertos de Madrid evidenció que los modelos pueden predecir condiciones de tráfico y reducir tiempos de recorrido cuando se calibran correctamente.</p> <p>El documento evidencia que el crecimiento del comercio electrónico ha intensificado los problemas de congestión, costos y sostenibilidad en la última milla. Se identifican tendencias clave como vehículos eléctricos, lockers inteligentes, puntos de</p>	<p>elemento central en la logística de última milla. El estudio aporta evidencia técnica sobre predicción de tráfico, uso de datos GPS, análisis de redes viales y comparación de modelos de ML, reforzando tu enfoque sobre optimización de entregas y eficiencia operativa en entornos urbanos.</p> <p>El estudio aporta una visión clara y actual sobre las soluciones tecnológicas y operativas en la última milla, alineándose con los ejes temáticos de la monografía en optimización urbana, sostenibilidad y</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	evaluación de soluciones tecnológicas emergentes y estudio de casos sobre microhubs, lockers, vehículos alternativos y modelos de entrega urbana.	recogida, bicicletas de carga y aplicaciones digitales, demostrando que cada solución depende de las características urbanas y culturales. Se resalta la importancia de mejorar la experiencia del cliente, disminuir el impacto ambiental y fortalecer la colaboración público-privada.	transformación digital. Su análisis de tendencias y casos refuerza la fundamentación teórica del estudio y contextualiza los retos logísticos relevantes en ciudades latinoamericanas.
32	El estudio emplea formulación matemática del problema de rutas de transporte, análisis de redes, construcción de matrices de distancia, modelación mediante programación lineal entera, comparación de alternativas de recorrido y evaluación de escenarios para minimizar costos y distancias en sistemas de transporte urbano.	El modelo propuesto permitió detectar deficiencias en las rutas existentes, mostrando que los recorridos podían reducirse mediante una asignación matemática óptima. La optimización redujo distancias, tiempos y costos operativos, demostrando que los modelos determinísticos mejoran significativamente la eficiencia del transporte urbano y permiten una planificación más racional del uso de los vehículos.	Es relevante para la monografía porque presenta un modelo colombiano de optimización de rutas, demostrando la aplicabilidad real del VRP en contextos urbanos similares a los de la logística de última milla. Refuerza la dimensión metodológica del estudio al mostrar cómo la optimización matemática mejora eficiencia, costos y planificación urbana.
33	Desarrolla un proyecto de emprendimiento basado en IoT y RFID	Concluye que es viable diseñar e implementar un sistema de monitoreo RFID e	Se incluye porque ofrece un caso colombiano reciente de aplicación de

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
34	<p>para pequeñas empresas de logística de última milla en Medellín, combinando revisión de literatura especializada en logística e Internet de las Cosas, levantamiento de requerimientos con una empresa del subsector, diseño de la solución mediante prototipado y planificación por fases, modelamiento del negocio a través de Lean Canvas y un análisis preliminar de prefactibilidad técnica, económica y operacional apoyado en métricas de costos, VAN y TIR.</p> <p>El documento emplea modelamiento matemático del problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, junto con el diseño y ejecución de una metaheurística</p>	<p>IoT de bajo costo para pequeñas empresas de última milla que mejore la visibilidad de los envíos, reduzca errores y tiempos de entrega, incremente la capacidad instalada y aporte herramientas analíticas para la toma de decisiones sobre rutas e inventarios, siempre que la solución se adapte a las características de cada empresa y se gestione por fases (diseño, prototipado, prefactibilidad e instalación).</p> <p>El sistema propuesto mejoró de manera significativa la eficiencia del ruteo respecto a la planificación manual, reduciendo costos operativos y tiempos de recorrido. Las soluciones generadas por el algoritmo genético</p>	<p>IoT, RFID y analítica de datos en la logística de última milla, enfocado específicamente en pequeñas empresas de Medellín, articulando diseño tecnológico, modelo de negocio y prefactibilidad económica. El estudio aporta una base conceptual y técnica sobre cómo estructurar soluciones de monitoreo y ruteo basadas en datos en contextos de alta informalidad y baja adopción tecnológica, lo que es directamente pertinente para analizar la mensajería y la logística de última milla en Colombia desde la ciencia de datos.</p> <p>El documento aporta evidencia sólida sobre la utilidad de las metaheurísticas en el ruteo de última milla, coincide metodológicamente con los enfoques modernos de optimización logística y</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	<p>basada en algoritmos genéticos. Integra operadores evolutivos, codificación cromosómica, funciones de aptitud y simulaciones computacionales aplicadas a datos reales de una empresa courier.</p> <p>El documento utiliza revisión bibliográfica especializada sobre inteligencia artificial y logística, análisis de datos provenientes de encuestas aplicadas a empresas del Valle de Aburrá, interpretación cualitativa de percepciones organizacionales y evaluación conceptual de las tecnologías de IA para planificación, seguimiento y optimización de rutas.</p>	<p>permitieron cumplir mejor las ventanas horarias y minimizar la distancia total, demostrando que una herramienta soportada en modelos evolutivos supera los métodos tradicionales utilizados por la empresa.</p> <p>El estudio identifica que la logística de las PYMES del Valle de Aburrá sigue siendo manual y depende en exceso de operarios, lo que genera demoras, errores y altos costos operativos. Se comprueba que la inteligencia artificial puede mejorar la planificación de rutas, reducir tiempos, optimizar el uso de recursos y responder en tiempo real al tráfico y a la demanda, aunque muchas empresas aún desconocen su potencial o carecen de recursos para implementarla.</p>	<p>muestra resultados reales aplicados a un courier, lo que fortalece la fundamentación teórica y práctica del análisis de eficiencia operativa en su monografía.</p> <p>Es pertinente porque analiza directamente el impacto de la inteligencia artificial en la eficiencia logística y en la optimización de rutas, una dimensión central en tu monografía sobre última milla. Además, se desarrolla en Colombia y en un entorno urbano real, aportando evidencia local y contextual plenamente alineada con tus categorías analíticas.</p>
35	<p>Se emplea revisión documental especializada sobre</p>	<p>El documento evidencia que la última milla es la fase más costosa y compleja de la</p>	<p>Es pertinente para la monografía porque profundiza en conceptos</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	comercio electrónico, última milla y logística inversa, análisis conceptual de procesos operativos, evaluación comparativa de los factores que aumentan los costos de distribución, y revisión metodológica de estrategias que reducen ineficiencias en entregas y devoluciones.	cadena de suministro debido a múltiples entregas dispersas, congestión urbana y altos niveles de devoluciones procedentes del comercio electrónico. También demuestra que la logística inversa ha crecido significativamente, incrementando las exigencias operativas. Se concluye que la eficiencia depende de optimizar rutas, mejorar la gestión de devoluciones y aplicar estrategias que reduzcan tiempos, fallos de entrega y costos.	críticos de la última milla y de la logística inversa, ambas esenciales para comprender los retos operativos analizados en tus categorías temáticas. Sus definiciones y análisis estructurados aportan fundamento teórico sólido para explicar costos, complejidad, eficiencia y oportunidades de mejora en entornos urbanos.
37	El estudio desarrolla un modelo matemático basado en programación lineal entera que integra elementos del problema del agente viajero (TSP) y del problema de la mochila (Knapsack), utilizando el software LINGO®, pruebas de verificación y validación frente a datos reales, así como una	El modelo permite identificar rutas óptimas para minimizar costos totales de entrega desde un depósito hacia múltiples clientes, demostrando que la integración TSP–mochila reduce significativamente recorridos y vehículos requeridos. Aplicado a CESER, el modelo disminuyó el número de rutas tradicionales y generó un	Es pertinente porque demuestra, con datos reales, cómo los modelos matemáticos y la optimización clásica pueden reducir costos y mejorar la eficiencia en distribución de última milla, aportando un referente técnico sólido que complementa los enfoques predictivos y tecnológicos

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	interfaz con Excel para gestionar parámetros y ejecutar simulaciones de rutas óptimas.	ahorro anual estimado en 37.500 soles, evidenciando mejoras logísticas relevantes.	contemporáneos. Su estructura metodológica y su aplicación práctica fortalecen el marco teórico y analítico de la monografía.
38	El estudio utiliza un modelo de programación no lineal entera mixta aplicado al transporte terrestre primario, empleando estructura de investigación de operaciones con formulación matemática detallada, restricciones operativas reales, variables de asignación vehicular, capacidad, demanda, huella de carbono y retorno logístico. Se apoyó en análisis de datos históricos, caracterización de flota, evaluación de costos según SICE-TAC y validación comparativa entre los resultados del	El modelo redujo entre 10% y 23% los costos diarios de asignación de vehículos, disminuyó en 9% promedio la huella de carbono al priorizar vehículos de gas y optimizó el uso de la flota, aumentando la ocupación en 4.2%. Además, permitió establecer una política sistemática de remonte de dollys y mejoró la asignación entre proveedores, reduciendo el uso de transportadoras con mayores intermediaciones.	Es relevante porque demuestra, con datos reales y un enfoque cuantitativo riguroso, cómo la optimización matemática aplicada al transporte mejora la eficiencia, reduce costos y minimiza impactos ambientales en Colombia. Aporta evidencia sólida para fundamentar la importancia de los modelos de optimización en redes logísticas, fortaleciendo el marco analítico de la monografía sobre eficiencia en entregas urbanas y última milla.

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
39	<p>modelo y la operación real de la empresa. El estudio aplica el enfoque FSMVRPTW, combinando programación entera, modelación matemática de restricciones operativas, cálculo de distancias mediante fórmula Haversine, integración de datos geográficos obtenidos de Google Maps, estimación de costos según tipos de vehículo y ejecución del modelo en LINGO 11. Se establece una estructura basada en teoría VRP, TSP y metaheurísticas, incorporando capacidades, ventanas horarias, tiempos de servicio y características de flota heterogénea.</p> <p>El estudio utiliza simulación matemática mediante programación lineal, integración de</p>	<p>El modelo identificó una ruta óptima que redujo costos en 200 soles por viaje frente al método actual, incrementó la utilización vehicular y disminuyó el tiempo de programación de 15–30 minutos a 0.5 minutos, demostrando mayor eficiencia con un solo vehículo de mayor capacidad. Además, confirmó que el método se vuelve más eficiente a medida que aumentan los nodos y evidenció la necesidad de incluir dinámicas reales como variabilidad de demanda, tiempos de traslado y ventanas horarias.</p> <p>La simulación permitió optimizar rutas orientales y occidentales, reduciendo entre 3% y 3.8% la distancia</p>	<p>Este documento es pertinente porque demuestra la aplicación real y cuantificable de un modelo FSMVRPTW en logística urbana, mostrando mejoras claras en costos, tiempo y eficiencia. Aporta fundamentos matemáticos y prácticos alineados con la optimización de rutas en última milla, fortaleciendo el marco metodológico y demostrando cómo las técnicas avanzadas superan métodos manuales tradicionales.</p> <p>Es relevante porque muestra un caso urbano real de optimización logística mediante</p>
40	<p>simulación matemática mediante programación lineal, integración de</p>	<p>La simulación permitió optimizar rutas orientales y occidentales, reduciendo entre 3% y 3.8% la distancia</p>	<p>Es relevante porque muestra un caso urbano real de optimización logística mediante</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
41	<p>algoritmos VRP basados en caminos mínimos (Dijkstra), construcción de redes viales en ArcGIS 10.5 con Network Analyst, georreferenciación con GPS, levantamiento de datos reales de campo, análisis de distancias, tiempos y consumo de combustible, junto con mallas PERT, modelos de rutas y herramientas de SIG. Se parte de un proceso empírico inicial y se estructura un modelo técnico para corregir errores identificados en el muestreo de rutas existentes.</p> <p>Se realiza un levantamiento detallado de procesos y tiempos de la mensajería interna y externa, se construye y valida un modelo de simulación de sistemas en el software ARENA</p>	<p>recorrida, disminuyendo entre 4% y 17% el tiempo total de operación según la ruta, y logrando ahorros entre 2.5% y 4% en consumo de combustible anual. Se demostró que la red actual tenía deficiencias en planificación, distribución de contenedores y uso de recursos, y que el uso de SIG mejora significativamente la eficiencia operativa del sistema de recolección.</p> <p>La simulación del sistema actual evidencia un sobredimensionamiento de recursos en la mensajería interna; el modelo propuesto permite reducir en 50 % el gasto de mensajería interna manteniendo el mismo</p>	<p>simulación y SIG, metodologías fundamentales en el estudio de la última milla. Aporta evidencia concreta de cómo el análisis de redes mejora eficiencia, planificación y costos en operaciones urbanas, fortaleciendo la base empírica y metodológica de la monografía.</p> <p>Este estudio constituye un referente sólido de optimización de rutas y dimensionamiento de recursos en un contexto latinoamericano urbano, combinando simulación de procesos y heurísticas de</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
42	<p>para representar la situación actual y la propuesta, y para la mensajería externa se aplican heurísticas de ruteo de vehículos, en particular el algoritmo de ahorros de Clarke & Wright, complementado con otros algoritmos (Gillett & Miller y Pétalos) y análisis económico comparativo de costos antes y después de las mejoras.</p> <p>Uso de ciencia de datos para análisis de datos históricos de entregas; modelos predictivos; técnicas de clusterización como K-Means y DBSCAN para segmentación geográfica de destinos; redes neuronales artificiales para predicción de tiempos; heurísticas y metaheurísticas como</p>	<p>volumen diario de documentos entregados. En la mensajería externa, las rutas diseñadas con Clarke & Wright logran una reducción del 29 % en la distancia total recorrida, y la evaluación económica conjunta de ambas propuestas estima un ahorro anual de S/ 49.445 en costos de mensajería, demostrando el impacto de la optimización sistemática de recursos y rutas.</p> <p>La aplicación combinada de modelos predictivos, clusterización y heurísticas permitió identificar mejoras significativas en eficiencia logística; evidencia empírica indica reducciones del 18% en distancia recorrida y del 22% en tiempos de entrega; confirma que los algoritmos de optimización y ML superan los métodos manuales tradicionales.</p>	<p>VRP para mensajería interna y rutas externas.</p> <p>Aporta evidencia cuantitativa clara de cómo el rediseño de la red de mensajería y la planificación de rutas reduce distancias y costos, lo que se alinea directamente con tu monografía sobre logística de última milla y soluciones analíticas para mejorar la eficiencia en servicios de mensajería y distribución urbana.</p> <p>Es relevante porque demuestra, con un caso colombiano y actual, cómo la ciencia de datos puede aplicarse directamente al problema central de la monografía: optimizar rutas de última milla; ofrece soporte teórico, técnico y práctico en técnicas que también serán utilizadas en nuestro análisis; muestra resultados cuantificables</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
43	<p>Simulated Annealing para optimización del VRP; análisis descriptivo de variables logísticas.</p> <p>El estudio articula la mejora del proceso de distribución usando la metodología Six Sigma a través del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), complementada con herramientas de calidad como el diagrama de Ishikawa y la técnica de los 5 Porqués para el análisis de causa raíz, y con herramientas logísticas y de datos como el diagrama SIPOC, hojas de recolección de datos, indicadores KPI y el software de optimización de rutas SimpliRoute, que automatiza la planificación y</p>	<p>La propuesta logró una reducción del tiempo medio de atención por pedido de 25 a 19 minutos, incrementó el nivel de cumplimiento de entregas del 82 % al 93 % y equilibró la carga de trabajo entre rutas, alcanzando entre 55 y 60 entregas por unidad con mejor uso de recursos; en conjunto, estos resultados evidencian una optimización efectiva del sistema de distribución y un aumento del desempeño logístico global.</p>	<p>aplicables al contexto de mensajería urbana en Colombia.</p> <p>Se incluye porque muestra, en un contexto latinoamericano y con productos de alta rotación, cómo la combinación de análisis de datos operativos, metodologías estructuradas de mejora continua (DMAIC/Six Sigma) y una plataforma tecnológica de ruteo (SimpliRoute) transforma un proceso de distribución tradicional en un sistema logístico más eficiente, flexible y basado en datos, lo cual es directamente pertinente para tu monografía sobre mensajería y logística de última milla y para sustentar la importancia de las soluciones predictivas y de optimización en la</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
44	<p data-bbox="370 254 630 338">seguimiento de las rutas.</p> <p data-bbox="345 831 646 1461">Se aplicaron el algoritmo Dijkstra para cálculo de rutas mínimas, Solver para optimización matemática de distancias y tiempos, FlexSim para simulación operativa, y análisis de datos reales de tiempos, distancias y costos.</p>	<p data-bbox="678 474 1060 831">La empresa presentaba recorridos ineficientes; la optimización redujo tiempos, distancias y consumo de combustible, mejoró la asignación de rutas y aumentó la productividad operativa.</p> <ul data-bbox="678 852 1060 1818" style="list-style-type: none"> - Las rutas actuales presentan ineficiencias importantes en tiempos, distancias y costos. - El algoritmo Dijkstra permite encontrar rutas más cortas y eficientes. - El uso de Solver reduce costos en distancias, tiempos y combustible. - Las simulaciones con FlexSim validan la factibilidad de las rutas optimizadas. - La optimización genera reducción de costos operativos, menores tiempos de entrega y mejor aprovechamiento de la flota. 	<p data-bbox="1101 254 1401 338">mejora del desempeño logístico urbano.</p> <p data-bbox="1084 852 1417 1440">Es un estudio reciente y real en Latinoamérica que demuestra cómo algoritmos y simulación optimizan rutas de transporte, alineándose directamente con la optimización y la analítica logística que fundamentan tu monografía de última milla.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
45	Análisis estadístico de bases de datos internas, observación directa de procesos, extracción y depuración de datos operativos, análisis de tiempos, identificación de cuellos de botella y propuesta de tablero BI para control operacional.	Se evidenció que la asignación manual de rutas genera demoras significativas, falta de sincronización entre áreas y errores recurrentes; los procesos tardan más de lo óptimo y existe baja estandarización de direcciones, mala planeación del personal y limitaciones físicas en el despacho, afectando la eficiencia de la última milla.	El estudio muestra con evidencia real cómo el análisis de datos, la estandarización, la sistematización y los indicadores operativos mejoran el desempeño de la última milla, aspectos totalmente alineados con los objetivos analíticos y operativos de tu monografía.
46	Se construye un marco de trabajo Lean Six Sigma a partir de revisión exhaustiva de literatura y antecedentes, se realiza diagnóstico financiero y operativo de Transdyzas mediante análisis de utilidades, estructura de costos, KPIs e informes internos, se modelan y documentan los procesos con mapa de procesos, SIPOC y flujogramas, y se diseñan e implementan	El modelo Lean Six Sigma propuesto, basado en Kanban y SOP, reduce en 6,43 % los costos operativos totales respecto a los ingresos, disminuye en 8,9 % el promedio de kilómetros recorridos por vehículo, incrementa el porcentaje de pedidos sin daños de alrededor de 54 % a 82 % y eleva los pedidos entregados a tiempo de cerca de 77 % a 85 %, superando los estándares de Perú y Colombia; adicionalmente, los costos por horas extras se reducen en 27	El estudio aporta evidencia empírica muy reciente, latinoamericana y de microempresa sobre cómo un marco Lean Six Sigma, apoyado en datos operativos (km, daños, puntualidad y costos), permite reducir costos en la logística de distribución de última milla; muestra la relación directa entre rediseño de procesos, estandarización (SOP), uso de Kanban y desempeño medido con KPIs comparables con

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
47	<p>herramientas específicas (tablero Kanban y Procedimientos Operativos Estándar – SOP) apoyadas en un plan de capacitación y en la medición comparativa de indicadores antes y después de la intervención.</p> <p>El estudio utiliza simulación en hardware-in-the-loop y software-in-the-loop con ArduPilot y QGroundControl para reproducir vuelos de un dron tipo DJI Matrice 600 PRO en entornos urbanos, configurando parámetros físicos y energéticos en archivos de simulación y ejecutando misiones definidas mediante archivos .plan generados con scripts en Python. Se diseñan y ejecutan rutas de</p>	<p>% y su peso relativo en los costos totales cae de 14,1 % a 11,1 %.</p> <p>Las simulaciones muestran que la operación de un dron tipo DJI Matrice 600 PRO para entregas de última milla es viable en entornos urbanos siempre que las distancias y las cargas se mantengan en rangos moderados, evidenciando un consumo energético prácticamente lineal hasta alrededor del 40 % de batería y una degradación clara del rendimiento por debajo del 30 %. El incremento de la carga útil de 2 kg a 6 kg aumenta significativamente la corriente consumida y reduce la reserva de batería, confirmando que</p>	<p>estándares de Perú y Colombia, lo que lo hace totalmente pertinente para tu monografía sobre mensajería y logística de última milla y para sustentar el vínculo entre técnicas de mejora de procesos y optimización operativa basada en datos.</p> <p>Este trabajo aporta un análisis detallado y cuantitativo de la viabilidad técnica del reparto de última milla con drones en ciudad, utilizando simulación, métricas energéticas y variables operativas clave directamente relacionadas con la logística urbana. Se alinea con la monografía al abordar la última milla con un enfoque de experimentación basada en datos (tiempos, consumos, distancias, cargas) y al ofrecer criterios para planificar rutas,</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	distinta distancia y complejidad, con diferentes niveles de carga, monitorizando variables como tiempo de vuelo, distancia, velocidad, corriente y porcentaje de batería. Además, se desarrolla una interfaz en Unity integrada con mapas Mapbox para facilitar gráficamente la definición y configuración de rutas por usuarios no expertos.	el peso es una restricción crítica. En trayectos de hasta unos 5 km con cargas cercanas a 4 kg se mantiene un margen de seguridad aceptable, mientras que distancias mayores exigen estrategias de recarga o relevos. El trabajo aporta además herramientas prácticas (scripts, configuraciones y guía de parámetros) reutilizables para futuros estudios.	dimensionar capacidades y evaluar el desempeño de tecnologías emergentes en mensajería urbana. La combinación de revisión del estado del arte, modelado de escenarios, simulación y análisis de resultados lo hace especialmente pertinente para fundamentar el componente tecnológico y de optimización de tu estudio.
48	Revisión documental del estado del arte del VRP y sus variantes, de sistemas expertos y de metaheurísticas para ruteo de vehículos, así como de la descripción del proceso de distribución en mensajería.	El sistema experto híbrido reduce de forma muy significativa la distancia promedio entre clientes: el indicador pasa de 9,82 km en la situación actual a 0,98 km en la etapa de diseño de rutas con el modelo, es decir, una reducción cercana al 90 % en la distancia entre visitas.	Se incluye porque trata directamente de un servicio de mensajería de documentos, con rutas urbanas y restricciones de citas horarias, totalmente alineado con la logística de última milla. Aplica técnicas avanzadas de ciencia de datos / analítica:
	Formulación de modelo matemático de programación lineal	El nivel de servicio (cumplimiento de citas con clientes) se incrementa desde	modelo matemático, sistemas expertos, heurísticas y

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	<p>para un problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, múltiples periodos, fechas de vencimiento, restricciones de distancia y horario en la capacidad.</p> <p>Diseño de sistema experto: construcción de base de conocimiento (entrevistas), motor de inferencia y subsistema de explicación, implementados en Jess–Java.</p> <p>Híbrido heurística–metaheurística: desarrollo de un esquema que combina:</p> <ul style="list-style-type: none"> • heurísticas para programación de paquetes (asignación a días respetando fechas de vencimiento y capacidad), • heurística de zonificación (agrupamiento por centros geométricos y 	<p>un valor real de alrededor de 82 % hasta un 93 % esperado con el sistema propuesto, mejorando en 11 puntos porcentuales. En la etapa de zonificación, la heurística basada en centros geométricos logra una distancia promedio entre clientes 62 % menor que la heurística de barrido, mostrando la importancia de la técnica de agrupamiento en el desempeño global. El modelo integra en un solo esquema cuatro variantes del VRP (VRPTW, MVRP, VRPD, DVRP) más la restricción de horario en la capacidad, demostrando que es posible abordar simultáneamente ventanas de tiempo, múltiples días, fechas de vencimiento y límites de distancia/turno en un servicio masivo de mensajería (más de 25 puntos por vehículo al día).</p>	<p>metaheurísticas (colonia de hormigas) para ruteo de vehículos, aportando un caso robusto de integración de inteligencia artificial y optimización en distribución urbana.</p> <p>Aborda explícitamente la combinación de varias variantes del VRP y restricciones operativas del sector mensajería, que es uno de los focos de tu monografía. Muestra impactos cuantificables en km recorridos y nivel de servicio, útiles como evidencia empírica para argumentar cómo la analítica y los sistemas expertos pueden mejorar coste y servicio en la última milla.</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
49	<p>algoritmo de barrido), • metaheurística colonia de hormigas (ACS para TSP con ventanas de tiempo) para el diseño de rutas.</p> <p>Formulación de modelos de ruteo de vehículos (VRP / CVRP) sobre grafos, con objetivo de minimizar distancia y tiempo.</p> <p>Clustering (K-means) para agrupar las 3200 manzanas en 140 clústeres (problema macro).</p> <p>Construcción de matrices de distancia y tiempo de viaje usando OpenRouteService (ORS) instalado en servidor local y datos viales de OpenStreetMap, apoyado en QGIS para limpiar shapefiles, corregir geometrías y obtener centroides.</p>	<p>La planificación manual de rutas (3–4 días de trabajo, en promedio 2 días por implementación) se reemplaza por una asignación automática que se ejecuta en poco más de una hora, logrando una reducción del tiempo de planificación $\approx 88-89\%$.</p> <p>El modelo genera rutas factibles dentro de una jornada laboral de 8 horas, validando distancia y duración con ORS; se obtienen ejemplos de rutas diarias entre ~ 120 y 180 km en zonas urbanas como Guayaquil.</p> <p>La solución macro–micro permite cubrir las 3200 manzanas en 20 días con 7 vehículos, identificando además ineficiencias</p>	<p>Se incluye porque es un caso real de optimización de rutas de visita a clientes para una empresa pública, con horizonte mensual y cobertura nacional, directamente vinculado a la planificación logística y ruteo en última milla/penúltima milla.</p> <p>Aplica técnicas propias de la ciencia de datos y la analítica avanzada (clustering, heurísticas genéticas, librería PyVRP, APIs de ruteo), mostrando cómo la modelación matemática y los algoritmos de optimización mejoran la eficiencia de flotas reales.</p> <p>Cuantifica beneficios claros: gran reducción del tiempo de planificación,</p>

No	Técnicas empleadas	Principales hallazgos	Justificación de inclusión
	Implementación de un algoritmo heurístico–metaheurístico híbrido (búsqueda genética híbrida) con la librería PyVRP en Python para resolver las rutas de cada vehículo y día (problema micro).	estructurales (por ejemplo, tener un solo depósito en Guayaquil obliga a recorridos de cientos de km para algunos equipos). Se concluye que la principal limitación del modelo es la falta de datos operativos finos (tiempos de visita, disponibilidad de clientes, ventanas de tiempo), lo que impide usar variantes más realistas como VRPTW.	potencial disminución de km recorridos, costos y emisiones, alineándose con tus objetivos de mostrar impactos operativos y ambientales de la optimización en mensajería/logística. Aporta reflexiones y recomendaciones sobre limitaciones de datos, necesidad de nuevos depósitos y uso de información geoespacial, muy útiles para tu discusión sobre brechas y retos en la implementación de soluciones de última milla en el sector público.

Apéndice C

Tabla Comparativa Final de los Estudios

Eje analítico	Prácticas y técnicas observadas	Beneficios reportados	Limitaciones identificadas	Implicaciones para Colombia
Optimización y ruteo	VRP, VRPTW, heurísticas, metaheurísticas, algoritmos híbridos	Reducción de tiempos, menor distancia recorrida, eficiencia operativa Mejor	Complejidad computacional, necesidad de datos limpios	Aplicable para empresas de mensajería urbana con flotas mixtas
Predicción y ETA	Regresión, árboles de decisión, redes neuronales, series de tiempo	planificación de entregas, reducción de reintentos, mayor satisfacción del cliente	Necesidad de histórico robusto, datos geoespaciales, variabilidad urbana	Bases para sistemas predictivos urbanos y rutas dinámicas
Monitoreo y trazabilidad	IoT, GPS, dashboards, sensores telemáticos	Mayor visibilidad, control de flota, decisiones en tiempo real	Costos de implementación, integración tecnológica	IoT emergente en transporte urbano, gran potencial en pymes
Costos y oductividad	Modelos de simulación, análisis costo-beneficio, KPIs logísticos	Optimización de recursos, reducción de costos por km y por entrega	Falta de datos financieros reales, resistencia al cambio operativo	Relevante para transformación operativa y Lean logística urbana