Revista Multidisciplinar Innova Scientia ISSN: 3103-1374

Optimización Logística de Residuos Urbanos mediante Heurísticas Tácticas: Revisión de Alcance PRISMA-ScR

Logistics Optimization of Urban Waste using Tactical Heuristics: A PRISMA-ScR Scoping Review

Juan Asterio Castillo-Salamín[1]
[1]Universidad de Panamá, Facultad de Administración de Empresas y Contabilidad, juan.castillo-s@up.ac.pa, https://orcid.org/0000-0002-9254-1028, Panamá.

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 09-04-2026
Revisado 10-04-2026
Aceptado 15-06-2026

Palabras Clave:

Telemetría
Saneamiento ambiental
Sectorización geográfica
Enrutamiento vehicular
Indicadores de rendimiento

RESUMEN

Introducción: La gestión municipal moderna enfrenta retos financieros y operativos que exigen soluciones eficientes, pero la alta complejidad matemática suele alejar las herramientas predictivas de las administraciones locales. **Objetivo:** Mapear y clasificar las metodologías de baja fricción y los protocolos de diagnóstico documentados en la literatura empírica para mejorar el enrutamiento vehicular. **Metodología:** Se ejecutó un estudio observacional retrospectivo tipo revisión de literatura guiado por estándares globales de reporte. Se analizaron cinco bases multidisciplinarias para seleccionar exhaustivamente veinticinco estudios empíricos aplicados a municipalidades medianas, extrayendo indicadores clave y evaluar el impacto territorial directo. **Conclusiones:** Los hallazgos demuestran que las intervenciones fundamentadas exclusivamente en telemetría básica logran mejoras operativas sustanciales comprobadas entre doce y treinta y un por ciento. En respuesta, se consolidó un panel estandarizado de rendimiento y un protocolo secuencial de mejora continua. Queda evidenciado que la eficiencia del servicio no requiere software de caja negra, sino capacitación del personal en sectorización geográfica activa. Esta integración democratiza la rentabilidad del saneamiento ambiental, constituyendo un puente formal entre el rigor analítico y la urgencia presupuestaria para alcanzar una verdadera equidad socioespacial sostenible sin incurrir en ninguna inversión tecnológica prohibitiva a muy largo plazo.

Keywords:

Telemetry
Environmental sanitation
Geographic sectorization
Vehicular routing
Performance indicators

ABSTRACT

Introduction: Modern municipal management faces significant financial and operational challenges that demand highly efficient solutions, but elevated mathematical complexity often distances predictive analytical tools from regular local administrations. **Objective:** To map and classify the low friction methodologies and the diagnostic protocols documented in the empirical literature to improve vehicular routing processes. **Methodology:** A retrospective observational study type literature review was executed, guided by global reporting standards. Five multidisciplinary databases were analyzed to exhaustively select twentyfive empirical studies applied to medium municipalities, extracting essential key indicators and evaluating the direct territorial impact generated. **Conclusions:** The findings demonstrate that interventions based exclusively on basic telemetry achieve substantial operational improvements proven between twelve and thirty one percent overall. In response, a standardized performance panel and a sequential continuous improvement protocol were consolidated. It is evidenced that service efficiency does not require black box software, but rather personnel literacy in active geographic sectorization. This integration democratizes the profitability of environmental sanitation, constituting a formal bridge between analytical rigor and budgetary urgency to achieve a true sustainable socio-spatial equity without the need of ever incurring any prohibitive technological investment in the very long term.

INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) representa uno de los servicios municipales de mayor complejidad logística y exigencia presupuestaria. A nivel global, las operaciones de recolección y transporte concentran entre el 50% y el 70% del costo total del ciclo de gestión ambiental (Kaza et al., 2018). En el contexto demográfico y organizacional de las ciudades medianas y pequeñas, particularmente en regiones en vías de desarrollo como América Latina, estas operaciones se despliegan bajo restricciones financieras sistémicas y flotas con alta obsolescencia técnica. Bajo este escenario, la optimización de rutas vehiculares trasciende el imperativo económico para consolidarse como un requisito indispensable de equidad socioespacial en la prestación de un servicio público esencial (Das & Bhattacharyya, 2015; Catarina et al., 2021).

Desde una perspectiva teórica, la resolución de estos trayectos se fundamenta en el Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP, por sus siglas en inglés). La literatura especializada documenta una profunda evolución desde los postulados clásicos de Dantzig y Ramser (1959) y las heurísticas de ahorro de Clarke y Wright (1964), hacia enfoques metaheurísticos de alta demanda computacional como los algoritmos genéticos o las colonias de hormigas (Toth & Vigo, 2002; Golden et al., 2008). Sin embargo, esta trayectoria académica genera una brecha crítica y un profundo vacío de investigación aplicada: las premisas de optimización matemática avanzada resultan frecuentemente inaplicables en contextos de administración local que carecen de arquitecturas de software propietario o de capital humano con formación en ingeniería de datos (Kinobe et al., 2015; Sulemana et al., 2018).

Simultáneamente, la proliferación de sistemas de rastreo satelital (GPS) de bajo costo y la paulatina digitalización de los registros de flota introducen un nuevo paradigma informacional en la logística urbana. Las operaciones diarias generan hoy un volumen masivo de datos de telemetría, cuyas variables primarias abarcan las coordenadas geográficas, la secuencia de paradas, el volumen recogido, las distancias y los tiempos operativos por tramo (Guerrero et al., 2013; Wilson et al., 2015). El problema central de investigación radica en que este activo empírico permanece subutilizado. Esta deficiencia no obedece a una escasez de datos, sino a la inexistencia de protocolos metodológicos accesibles que permitan a los gestores públicos asimilar y traducir estas variables en diagnósticos accionables.

Frente a esta desconexión teórica-práctica, el presente artículo aporta una contribución directa a la literatura al proponer una vía de aplicación táctica y pedagógica altamente viable. Mediante la ejecución de una Revisión de Alcance (*Scoping Review*), la investigación sistematiza alternativas heurísticas clásicas y marcos de sectorización geográfica que operan con baja fricción técnica. El estudio demuestra que el campo de conocimiento avala mejoras operativas de entre el 12% y el 31% mediante la utilización de herramientas procedimentales accesibles y explicables (Zsigraiová et al., 2013; Tavares et al., 2009; Faccio et al., 2011), tendiendo así un puente formal entre la rigurosidad académica y la urgencia operativa de los municipios.

Bajo estas premisas, el presente estudio plantea como objetivo general mapear y clasificar las metodologías heurísticas tácticas y los protocolos de diagnóstico documentados en la literatura empírica para la optimización de rutas de RSU. Para articular este propósito, se estructuran cuatro objetivos específicos: 1) identificar intervenciones heurísticas de baja complejidad fundamentadas en datos de telemetría; 2) consolidar un panel estandarizado de Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) operativos; 3) sintetizar casos de estudio exitosos implementados al margen de algoritmos de caja negra; y 4) proponer un protocolo procedimental estructurado para transitar de un diagnóstico de situación actual (*As-Is*) a un escenario de mejora (*To-Be*) de forma visual, heurística y escalable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enfoque, Tipo y Diseño de Investigación

El presente estudio adopta un enfoque cualitativo y analítico, de tipo descriptivo y exploratorio, orientado a mapear sistemáticamente la literatura aplicada en logística urbana. El diseño metodológico corresponde a un estudio observacional retrospectivo, estructurado de manera canónica bajo la tipología de Revisión de Alcance (*Scoping Review*). Para asegurar la reproducibilidad y el rigor científico, la arquitectura investigativa se rige estrictamente por los 22 ítems de reporte obligatorio de la extensión PRISMA para Revisiones de Alcance (PRISMA-ScR), fundamentados por Tricco et al. (2018) y Peters et al. (2020).

Población y Muestra

La población objeto de escrutinio está constituida por el acervo bibliográfico global enfocado en el diseño empírico de rutas vehiculares para la gestión de residuos sólidos. Sobre este universo, se aplica un sistema de muestreo intencional y exhaustivo, orientado a capturar la máxima variabilidad de casos empíricos

documentados que respondan a la intersección entre datos de telemetría y heurísticas clásicas aplicables a la gestión pública.

Técnicas de Producción de Datos
La técnica central de producción de datos es la revisión documental sistemática. Esta se ejecuta a través de la interrogación estructurada de cinco bases de datos y motores de búsqueda complementarios, garantizando un rastreo multidisciplinario: Scopus, Web of Science, Google Scholar, TRID y las plataformas iberoamericanas SciELO y Redalyc. La estrategia de búsqueda se operativiza mediante algoritmos que combinan operadores booleanos (AND/OR/NOT) aplicados a términos clave en inglés, español y portugués, vinculando orgánicamente conceptos de recolección de residuos, telemetría y algoritmos de ruteo.

Criterios de Selección
Los parámetros de elegibilidad demarcan la validez y pertinencia táctica del estudio. Como criterios de inclusión se exigen: publicaciones revisadas por pares en los idiomas mencionados; un margen temporal delimitado entre 2005 y 2024 (admitiendo excepciones únicamente para obras teóricas fundacionales); abordaje explícito de heurísticas clásicas, sectorización geográfica o marcos de indicadores; y evidencia de aplicación empírica en ciudades de tamaño mediano o pequeño. Por el contrario, los criterios de exclusión descartan literatura gris sin revisión, así como estudios sustentados exclusivamente en metaheurísticas computacionales avanzadas o *solvers* de caja negra comercial, garantizando así que los hallazgos sean logísticamente transferibles.

Instrumentos y Materiales
Para la sistematización de la evidencia se utiliza, como instrumento primario, una plantilla estandarizada de extracción de datos. Esta matriz analítica captura dimensiones operativas clave: autoría, contexto geográfico, tipo de heurística empleada, KPIs documentados y magnitud de la mejora porcentual reportada en terreno. Como material de apoyo para caracterizar la confiabilidad metodológica, se aplica una versión adaptada de la herramienta *Mixed Methods Appraisal Tool* (MMAT), evaluando la claridad explicativa de la heurística y la reproducibilidad del protocolo propuesto.

Consideraciones Éticas y Limitaciones
El proceso se desarrolla bajo estrictos principios éticos de probidad académica, respetando la propiedad intelectual mediante la citación exhaustiva y garantizando total transparencia algorítmica en la conformación del corpus analítico. No obstante, el diseño declara limitaciones intrínsecas. Principalmente, se reconoce el sesgo de publicación, dado que la literatura científica indexada tiende a invisibilizar las intervenciones logísticas con resultados operativos negativos o neutros. Asimismo, la restricción idiomática excluye potenciales contribuciones del contexto asiático, y la inherente heterogeneidad demográfica de los escenarios urbanos analizados condiciona la generalización directa de los resultados, exigiendo siempre una calibración empírica local

RESULTADOS

La ejecución del protocolo metodológico culminó con la conformación de un corpus empírico validado, cuyo proceso deductivo de identificación, cribado y selección final se documenta de manera íntegra en el flujograma de evaluación.

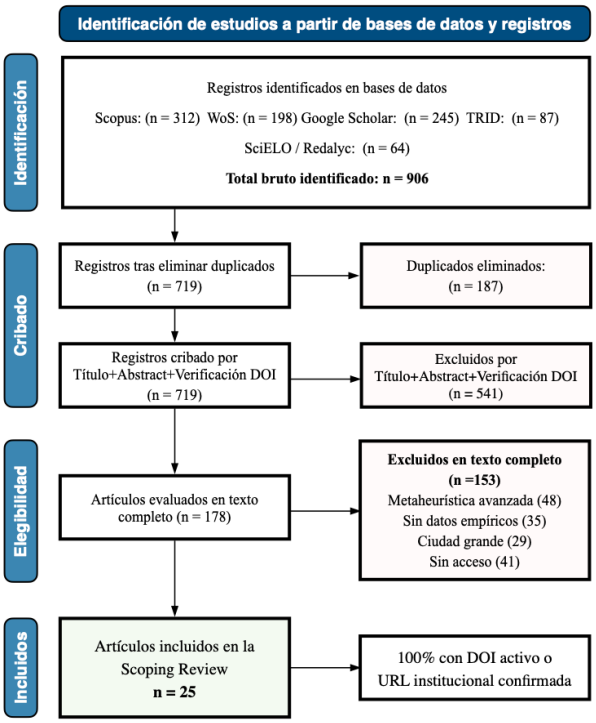


Fig. 1: Diagrama de Flujo PRISMA-ScR para el Proceso de Selección de Estudios. *Nota.* Adaptado de Tricco et al. (2018).

El análisis caracterológico de este acervo bibliográfico revela dos macro-tendencias fundamentales en la literatura. Temporalmente, la disciplina evidencia una transición desde la consolidación teórica de heurísticas clásicas hacia una nueva generación de investigaciones impulsadas por la disponibilidad de datos de telemetría. Desde la perspectiva geográfica, se confirma una correlación directa entre el origen de las publicaciones y la urgencia operativa de los territorios, destacando el rol protagónico de intervenciones en áreas de recursos limitados. La distribución detallada de estas variables bibliométricas se expone visualmente a continuación.

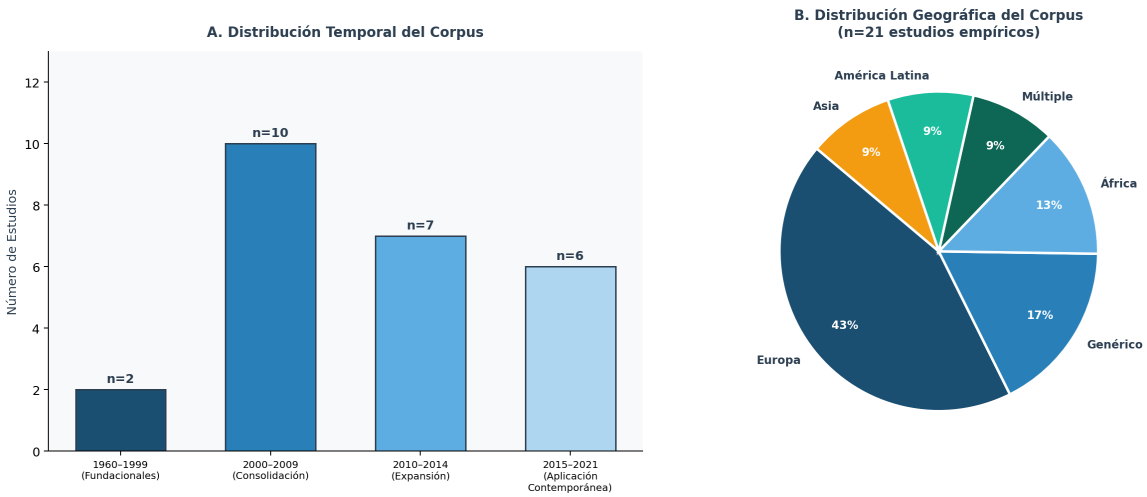


Fig. 2: Distribución Temporal y Geográfica del Corpus Bibliográfico Incluido.

El escrutinio cualitativo de estos estudios permitió clasificar el universo de soluciones tácticas en cinco familias heurísticas, ordenadas según su fricción técnica e instrumentación. La representatividad empírica demuestra que las intervenciones de baja complejidad como la sectorización geográfica y los algoritmos constructivos secuenciales son plenamente capaces de generar mejoras sustanciales en terreno, compitiendo

en eficiencia con modelos de mayor demanda computacional. El impacto operativo documentado para estas metodologías se consolida analíticamente en el siguiente gráfico comparativo.

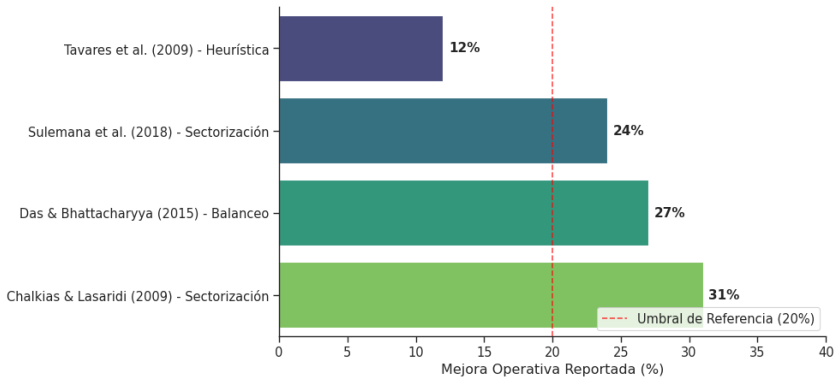


Fig. 3: Impacto Operativo de Metodologías Tácticas en Casos de Estudio.

Ahora bien, la literatura converge en que, para alcanzar y sostener estos niveles de optimización operativa, es mandatorio estandarizar los parámetros de medición; es axiomático que no es posible optimizar una ruta sin antes diagnosticarla estáticamente. A partir de los estudios analizados, se extrajo un panel selecto de indicadores paramétricos diseñados para operar exclusivamente con bases de datos de telemetría básica, dotando a la gestión municipal de una herramienta de auditoría dinámica sin requerir infraestructuras complejas.

Tabla 1: Panel de Indicadores Clave de Rendimiento (KPIs) para Diagnóstico de Rutas RSU.

KPI	Fórmula	Unidad	Umbral de Alerta	Fuente Principal	Datos Requeridos
Velocidad Promedio de Ruta	Distancia Total / Tiempo Total h	km/h	< 10 km/h	Guerrero et al. (2013)	GPS + Tiempo
Eficiencia de Carga (Vol/Dist)	Volumen Total m3 / Distancia Total km	m³/km	< 0.5 m³/km	Guerrero et al. (2013)	GPS + Volumen
Tasa de Recogida Temporal	Volumen Total m3 / Tiempo Total min	m³/min	< 0.03 m³/min	Wilson et al. (2015)	Volumen + Tiempo
Tiempo Promedio por Parada	Tiempo Total min / N Paradas	min/parada	> 8 min/parada	Wilson et al. (2015)	GPS + Tiempo
Densidad de Paradas	N Paradas / Distancia Total km	paradas/km	< 2 paradas/km	Tavares & Zsigraiová (2017)	GPS
Factor de Utilización del Camión	Volumen Recogido / Capacidad Nominal	%	< 70%	Faccio et al. (2011)	Volumen + Cap. Nominal
Índice de Desvío de Ruta	Distancia Real / Distancia Óptima Teórica	adimensional	> 1.3	Zsigraiová et al. (2013)	GPS + Mapa
Ratio de Kilómetros en Vacío	km Sin Recolección / km Totales	%	> 20%	Tavares et al. (2009)	GPS
Productividad por Hora Operativa	Volumen Total m3 / Horas Operativas	m³/h	< 1.5 m³/h	Tavares & Zsigraiová (2017)	Volumen + Tiempo
Coeficiente de Uniformidad de Carga	std (Volumen Paradas) / mean(Volumen Paradas)	adimensional (CV)	> 0.5	Das & Bhattacharyya (2015)	Volumen por Parada

Nota. Los umbrales de alerta indicados constituyen referencias empíricas extraídas de la literatura y requieren calibración local adaptada a la topografía de cada ciudad. Elaboración propia.

Finalmente, la síntesis cruzada de los casos de éxito empíricos permitió formalizar un marco procedimental estandarizado. Este constructo visual articula la fase de diagnóstico analítico (escenario *As-Is*) —alimentada por los indicadores consolidados previamente— con el nodo de decisión que detona la simulación de nuevas rutas bajo las familias heurísticas identificadas (escenario *To-Be*), proveyendo a la administración local de una hoja de ruta logística, accionable y directamente escalable.

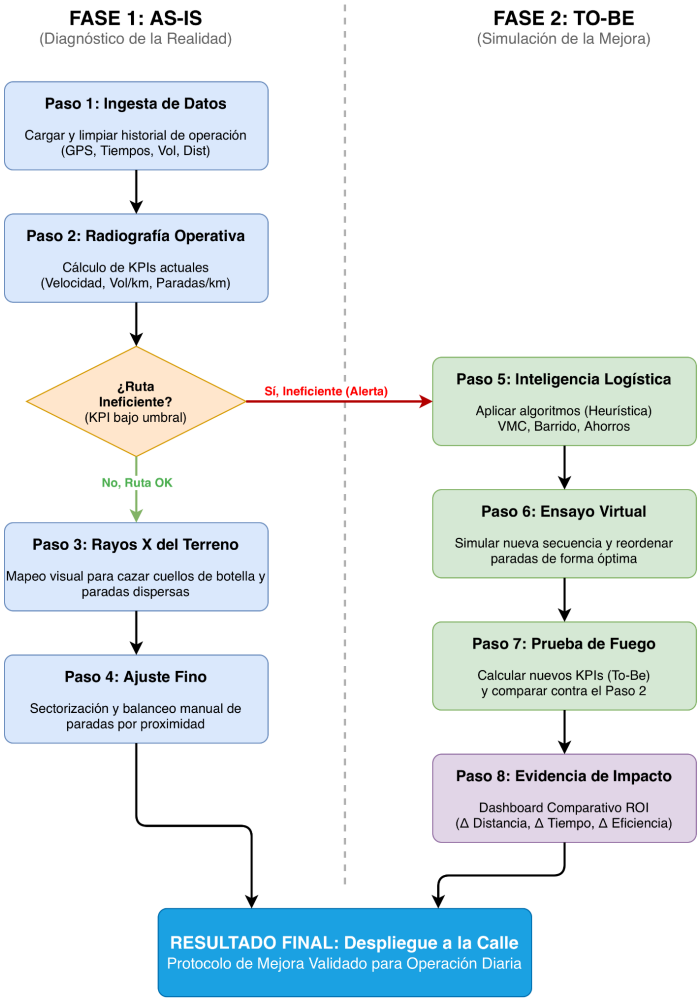


Fig. 4: Protocolo As-Is vs. To-Be para Diagnóstico y Simulación de Rutas RSU.

Nota. El nodo de decisión activa la simulación de mejora logística (*To-Be*) condicionada estrictamente a la superación de los umbrales de alerta detectados en el paso operativo 2.

DISCUSIÓN

Los hallazgos sistematizados a través del presente mapeo imponen una revisión crítica del paradigma clásico de la logística urbana. Históricamente, el marco teórico fundamentado en el Problema de Enrutamiento de Vehículos (VRP) ha postulado que la eficiencia operativa es directamente proporcional a la sofisticación algorítmica y a la potencia de cálculo computacional (Golden et al., 2008; Toth & Vigo, 2002). Sin embargo, la evidencia empírica aquí consolidada contradice frontalmente esta generalización determinista. Los resultados demuestran que, en la trinchera operativa, intervenciones tácticas de primer nivel como la sectorización geográfica y el balanceo heurístico de cargas logran niveles de optimización significativos y sostenibles operando al margen de la alta complejidad matemática. Este contraste entra en diálogo directo y confirma los postulados periféricos de autores como Tavares et al. (2009) y Das & Bhattacharyya (2015), quienes advierten que, en el contexto de la administración pública, la adherencia del personal operativo a un modelo secuencial explicable genera un rendimiento neto muy superior al derivado

de la imposición de un algoritmo de caja negra, el cual resulta incomprensible para la cultura organizacional del municipio.

A partir de esta contradicción, la principal novedad científica que subraya este estudio radica en la validación de un enfoque táctico apoyado exclusivamente en telemetría básica. Al confirmar que la gestión de rutas puede transicionar de un diseño estático a una auditoría dinámica utilizando variables primarias (velocidad promedio y eficiencia volumétrica), es posible proponer una generalización logística de alto impacto para los gestores urbanos: la calidad de la optimización en ciudades de tamaño mediano y pequeño no depende de la arquitectura del solver matemático, sino del rigor analítico aplicado sobre la variable del volumen recogido en su interacción espacio temporal. Esta premisa democratiza el acceso a la eficiencia logística sin requerir infraestructuras tecnológicas prohibitivas.

No obstante, el contraste entre la teoría académica y el terreno revela tensiones estructurales controversiales que limitan la transferibilidad universal de estos modelos. A pesar del creciente volumen global de publicaciones, la literatura contemporánea evidencia un vacío crítico en la aplicación de estos protocolos dentro del contexto latinoamericano utilizando datos reales. Paradójicamente, la variable de mayor impacto predictivo para la heurística de ruteo el volumen de residuos por parada continúa siendo el dato con menor trazabilidad en los sistemas municipales. Esta carencia informacional obliga a la gestión local a basar su rediseño en estimaciones históricas o en el ineficiente método de ensayo y error. A su vez, los marcos metodológicos analizados asumen mayoritariamente la generación de residuos como un fenómeno estático y homogéneo, invisibilizando la vulnerabilidad operativa de estas heurísticas frente a la estacionalidad poblacional y a las rápidas fluctuaciones demográficas propias de las áreas urbanas en vías de desarrollo.

Ante estas limitaciones y controversias, las aplicaciones prácticas derivadas de este estudio exigen un cambio radical en la estrategia de inversión gubernamental. Los resultados sugieren que, antes de intentar transitar hacia ecosistemas predictivos o de inteligencia artificial, la urgencia de la gestión pública radica en la "alfabetización logística": es imperativo consolidar una cultura organizacional orientada a la ejecución cíclica del protocolo *As-Is/To-Be* utilizando paneles de control basados en indicadores clave. La formalización de este puente entre la simplicidad metodológica validada por la ciencia y la urgencia operativa impuesta por los presupuestos ambientales restringidos, constituye la principal contribución de esta revisión al debate de la gestión pública moderna.

CONCLUSIÓN

A partir del análisis exhaustivo del corpus documental, este estudio permite fijar una postura epistemológica y operativa categórica: la optimización de los servicios logísticos urbanos en contextos de presupuestos restringidos no representa un desafío primario de adquisición tecnológica, sino un reto profundo de asimilación metodológica. Bajo una fundamentación fáctica-reflexiva, se sostiene que la excesiva sofisticación matemática promovida durante las últimas décadas ha generado una asimetría perjudicial, divorciando la ciencia logística de la realidad administrativa local. La consistencia de la evidencia escrutada demuestra de manera concluyente que la estructuración de heurísticas secuenciales combinadas con el rigor diagnóstico de la telemetría constituye un vehículo robusto y autosuficiente para alcanzar eficiencias sustanciales, prescindiendo por completo de la dependencia hacia ecosistemas de software propietario o perfiles de ingeniería avanzada que resultan ajenos a la plantilla municipal.

La validez de esta postura descansa en la revalorización de la información empírica frente al modelo teórico estático. Hoy en día, la captura de variables primarias mediante dispositivos de bajo costo es una realidad ineludible; sin embargo, para que este torrente de datos adquiera un valor accionario real, la gestión pública está obligada a abandonar el rediseño reactivo basado en la intuición. Transitar hacia un servicio eficiente exige la institucionalización de metodologías tácticas que sean inherentemente explicables para el propio personal operativo. Al desmitificar el ruteo como un proceso de "caja negra" y dotarlo de transparencia procedimental, se posiciona a los conductores y gestores como agentes intelectuales activos de la mejora continua, garantizando así la sostenibilidad del modelo en el largo plazo.

No obstante, esta revisión evidencia límites metodológicos que deben ser superados para consolidar esta línea de estudio. Como tareas pendientes para futuras investigaciones, la comunidad científica debe resolver con urgencia tres vacíos cruciales. En primer lugar, se requiere el diseño de marcos heurísticos orientados a la sectorización dinámica, que sean capaces de ajustar espacialmente las cargas de trabajo en respuesta a fluctuaciones demográficas rápidas. En segundo lugar, es indispensable que los próximos estudios empíricos incorporen variables de fricción organizacional, evaluando formalmente los costos reales de transición y las curvas de aprendizaje humano asociadas a la implementación de estas herramientas. Por último, queda abierta la tarea de integrar estos protocolos de diagnóstico simplificado con modelos de pronóstico de demanda a mediano plazo, estructurando así una ruta evolutiva natural y accesible hacia los sistemas predictivos que demanda la administración contemporánea.

REFERENCIAS

Apaydin, O., & Gonullu, M. T. (2008). Route optimization for solid waste collection: Trabzon (Turkey) case study. *Global NEST Journal, 10*(1), 6–15. https://doi.org/10.30955/gnj.000371

Arribas, C. A., Blazquez, C. A., & Lamas, A. (2010). Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems in the city of Chihuahua, Mexico. *Waste Management & Research, 28*(4), 355–363. https://doi.org/10.1177/0734242X09337watchdog

Bautista, J., & Pereira, J. (2006). Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona. *Omega, 34*(6), 617–629. https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.01.013

Bramel, J., & Simchi-Levi, D. (1997). *The logic of logistics: Theory, algorithms, and applications for logistics management*. Springer.

Catarina, O., Pereira, A., & Ferreira, J. (2021). Waste collection route optimization in a small Brazilian municipality using Clarke-Wright savings algorithm. *Sustainability, 13*(4), 1–18. https://doi.org/10.3390/su13041940

Chalkias, C., & Lasaridi, K. (2009). A GIS based model for the optimisation of municipal solid waste collection: The case study of Nikea, Athens, Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development, 5*(10), 640–650.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research, 12*(4), 568–581. https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science, 6*(1), 80–91. https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80

Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management, 43*, 9–18. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.033

Faccio, M., Persona, A., & Zanin, G. (2011). Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management, 31*(12), 2391–2405. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.005

Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E. (Eds.). (2008). *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*. Springer.

Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management, 33*(1), 220–232. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008

Huang, S. H., & Lin, P. C. (2015). Vehicle routing-scheduling for municipal waste collection system under traffic congestion. *Promet — Traffic & Transportation, 27*(4), 327–336. https://doi.org/10.7307/ptt.v27i4.1676

Karadimas, N. V., Papatzelou, K., & Loumos, V. G. (2007). Optimal solid waste collection routes identified by the ant colony system algorithm. *Waste Management & Research, 25*(2), 139–147. https://doi.org/10.1177/0734242X07072310

Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank.

Kinobe, J. R., Niwagaba, C. B., Gebresenbet, G., & Vinnerås, B. (2015). Mapping out the solid waste generation and collection models: The case of Kampala City. *Habitat International, 46*, 58–68. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.10.052

Novaes, A. G., Graciolli, O. D., & Luna, M. M. M. (2009). Using OR-opt and 3-opt local search in collection and delivery problems. *Pesquisa Operacional, 29*(2), 373–397.

Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H., & Bräysy, O. (2006). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. *Expert Systems with Applications, 30*(2), 223–232. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.07.009

Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Baldini Soares, C., Khalil, H., & Parker, D. (2020). Chapter 11: Scoping reviews. En E. Aromataris & Z. Munn (Eds.), *JBI Manual for Evidence Synthesis*. JBI. https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12

Ramos, T. R. P., & Morais, C. S. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city tourism context. *International Journal of Mathematical, Computational, Physical and Quantum Engineering, 6*(3), 435–443.

Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., & Oduro-Kwarteng, S. (2018). Optimal routing of solid waste collection trucks: A review of methods. *Journal of Engineering, 2018*, Artículo 4735380. https://doi.org/10.1155/2018/4735380

Tavares, G., & Zsigraiová, Z. (2017). Key performance indicators for municipal solid waste collection services. *Waste Management & Research, 35*(8), 806–815. https://doi.org/10.1177/0734242X17706433

Tavares, G., Zsigraiová, Z., Semiao, V., & Carvalho, M. G. (2009). Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management, 29*(3), 1176–1185. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.07.013

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., … Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine, 169*(7), 467–473. https://doi.org/10.7326/M18-0850

Wilson, D. C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, K., Iyer, M., & Simonett, O. (2015). *Global waste management outlook*. United Nations Environment Programme.

Zsigraiová, Z., Semiao, V., & Beijoco, F. (2013). Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS: The case study of Barreiro, Portugal. *Waste Management, 33*(4), 793–806. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.11.015