EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Optimización en el problema de localización de recipientes de disposición de residuos sólidos municipales: un estudio exploratorio

Édgar Eduardo Córdoba Sarmiento, Jennifer Tatiana Rueda Gómez

Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia

Resumen

La gestión de residuos sólidos municipales o MSW por su nombre en inglés (Municipal Solid Waste) se representa a través de una cadena de suministro inversa en donde se involucran decisiones relacionadas con la generación, el almacenamiento, la recolección, el transporte y la disposición final de los residuos sólidos.

Las operaciones de almacenamiento, recolección y transporte están estrechamente relacionadas; especialmente, por la decisión de localización de recipientes para la disposición de residuos. Debido a que, dentro de la cadena el costo de estas operaciones representa en promedio el 70% del costo total del sistema, resulta interesante el análisis del número, distribución y tipo de recipientes de disposición, soportando el problema de localización de recipientes de residuos sólidos (Waste Bins Location Problem).

La toma de estas decisiones se fundamenta en diversos factores o características del espacio geográfico objeto de estudio, adicional a los elementos pertinentes relacionados con la gestión de residuos sólidos establecidos por la entidad responsable. Estos factores se representan en la densidad poblacional del territorio, el tipo de actividad comercial, la accesibilidad a los puntos de disposición, la normativa vigente, la frecuencia de recolección, entre otros aspectos; luego, resolver el problema de localización de recipientes requiere de modelos robustos que involucren todos los aspectos y factores clave del sistema.

El presente trabajo, presenta un estudio exploratorio de las diferentes técnicas y métodos de optimización utilizados en la localización de recipientes de residuos sólidos municipales. Inicialmente, se identifican los factores clave y sus respectivos modelos analíticos para su descripción cuantitativa. En segunda instancia, a partir de literatura científica, se describen las métricas de optimización y los diferentes modelos desarrollados en estudios previos.

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4501

Los resultados obtenidos muestran que los factores referentes a densidad poblacional, actividad comercial y frecuencia de recolección se relacionan entre sí en términos de definir la cantidad de residuo por almacenar; mientras que, otros factores como la accesibilidad y la normativa, considera la factibilidad de los posibles puntos de localización y la eficiencia en etapas futuras de la cadena, puntualmente de la operación de recolección. Referente a los modelos de optimización, se encuentran tres perspectivas importantes a resaltar. Los modelos matemáticos, en su mayoría, modelos de programación lineal entera mixta; algoritmos heurísticos y metaheurísticos, y metodologías soportadas en sistemas de información geográfica. Finalmente, se resuelve que las decisiones asociadas con el tipo, número y localización de los recipientes de disposición pueden abordarse de forma integrada y en simultaneo mediante el modelo implementado, o en etapas secuenciales con apoyo de fórmulas analíticas.

Como elemento adicional, este trabajo constituye la primera fase metodológica de una investigación en curso, cuyo objetivo es desarrollar un modelo de optimización para la localización de recipientes de disposición de residuos sólidos en el municipio de Bucaramanga. Los resultados parciales permitieron caracterizar el caso de estudio a partir de lo encontrado en literatura, además de definir el tipo de modelo de optimización a implementar, sus características y los requerimientos del sistema por satisfacer.

Palabras clave: localización de cestas de disposición; modelo de optimización; gestión de residuos sólidos

Abstract

Municipal solid waste (MSW) management is exemplified by a reverse supply chain involving decisions related to the generation, storage, collection, transportation, and disposal of solid waste.

The operational processes of storage, collection, and transportation are inextricably linked, a fact that is particularly evident in the context of determining the allocation of containers designated for waste disposal. Given that the cost of these operations constitutes an average of 70% of the total system cost within the chain, it is worthwhile to examine the number, distribution, and type of disposal bins that support the Waste Bins Location Problem.

The decisions made are informed by a variety of factors and characteristics of the geographic space under study, in addition to the pertinent elements related to solid waste management established by the responsible entity. The factors contributing to this challenge include population density, commercial activity, accessibility to disposal points, current regulations, and frequency of collection, among others. Addressing the issue of container location necessitates the development of robust models that encompass all the pivotal aspects and factors of the system.

This paper presents an exploratory study of the various techniques and optimization methods employed for the location of municipal solid waste bins. First, the key factors and their respective analytical models for quantitative description are identified. Secondly, the text describes optimization metrics and various models developed in previous studies.

The findings indicate that factors such as population density, commercial activity, and collection frequency are interconnected in terms of determining the quantity of waste to be stored. Concurrently, other factors, including accessibility and regulatory frameworks, influence the feasibility of potential bin locations and the efficiency of subsequent stages of the supply chain, particularly the collection operation. With respect to optimization models, three significant approaches have been identified: mathematical models (primarily mixed-integer linear programming), heuristic and metaheuristic algorithms, and methodologies supported by Geographic Information Systems (GIS). A comprehensive evaluation has been conducted, leading to the determination that determinations concerning the nature, quantity, and disposition of waste receptacles may be addressed in a unified and concurrent manner through the implementation of the model that has been devised, or alternatively, in a successive sequence guided by analytical formulae.

This work represents a crucial component of an ongoing research initiative, which is developing a methodology for the strategic placement of waste disposal bins within the municipality of Bucaramanga. The preliminary results enabled the characterization of the case study in question, drawing upon extant literature and defining the optimization model to be implemented, its features, and the system requirements to be met.

Keywords*: waste bins location problem; optimization model; solid waste management*

1. Introducción

La gestión de residuos sólidos municipales (*Municipal Solid Waste*, MSW) constituye una función esencial dentro de los sistemas urbanos contemporáneos. El término MSW hace referencia a todos aquellos residuos generados en zonas residenciales, comerciales, institucionales y algunos sectores industriales, que no presentan características peligrosas y que requieren un tratamiento sistemático para su manejo, con el fin de proteger la salud pública, el medio ambiente y el orden urbano.

El proceso de gestión de MSW se concibe como una cadena de suministro inversa que comprende las siguientes etapas:

- Generación: punto donde los residuos son producidos, ya sea por hogares, comercios, instituciones o pequeñas industrias.
- Almacenamiento: depósito temporal en el sitio de origen, antes de ser recolectados.
- Recolección: actividad mediante la cual los residuos almacenados son recogidos, siguiendo rutas establecidas.
- Transporte: traslado de residuos hacia estaciones de transferencia, plantas de tratamiento o sitios de disposición final.
- Tratamiento y disposición final: incluye actividades como reciclaje, compostaje, incineración o disposición en rellenos sanitarios.

Las operaciones de recolección y transporte concentran hasta el 70% del costo total del sistema (Rossit et al., 2022), razón por la cual optimizar su funcionamiento se convierte en un objetivo

prioritario. Su eficiencia depende en gran parte de decisiones relacionadas con la organización de rutas, la frecuencia de servicio y la ubicación estratégica de los recipientes de disposición. Estos recipientes constituyen el primer punto de contacto entre el generador del residuo y el sistema de gestión, y su localización impacta la cobertura, accesibilidad, tiempo de recolección, comportamiento ciudadano y costos totales.

Dado el impacto de estos factores en la eficiencia del sistema, surge el problema de localización de recipientes de residuos sólidos, el cual ha sido ampliamente abordado desde distintas disciplinas. Este trabajo presenta una revisión exploratoria sobre dicho problema, describiendo los factores que lo condicionan, los modelos de optimización aplicados y los hallazgos más destacados en la literatura. Finalmente, se proponen líneas de trabajo futuro para fortalecer su análisis y aplicación en contextos reales.

2. Problema de localización de recipientes de residuos sólidos

El problema de localización de recipientes de residuos sólidos, conocido como *Waste Bins Location Problem*, consiste en determinar cuántos recipientes se deben instalar, dónde deben ubicarse y con qué características, de manera que se garantice la cobertura del servicio y se optimicen los recursos disponibles.

Este problema se enmarca dentro del Facility Location Problem (FLP), una clase de problemas de optimización ampliamente estudiada, que se centra en ubicar instalaciones (en este caso, recipientes) para satisfacer demandas bajo criterios de minimización de costos, maximización de cobertura, restricciones de distancia o capacidad, entre otros (Rossit et al., 2022).

En la literatura se han identificado dos grandes enfoques:

1. Modelos centrados solo en la localización: buscan minimizar distancias o maximizar cobertura sin considerar la operación de recolección (Letelier et al., 2022).

2. Modelos integrados de localización y recolección: abordan simultáneamente la ubicación de recipientes y la planificación de rutas, considerando la interacción entre ambas decisiones (Cavallin et al., 2020; Blazquez y Paredes-Belmar, 2020).

Además, en los últimos años, el problema ha evolucionado con la incorporación de herramientas asociadas a las tecnologías 4.0. En particular, el uso de sensores IoT instalados en los recipientes permite monitorear en tiempo real su nivel de llenado, lo que favorece la recolección dinámica basada en la demanda real, optimizando rutas y reduciendo costos (Vu y Kaddoum, 2017; Shibeshi et al., 2024). Este enfoque transforma el problema estático de localización en uno dinámico e inteligente, alineado con los principios de ciudades sostenibles y gestión basada en datos.

3. Factores críticos en el problema de localización de recipientes de residuos sólidos

La literatura especializada ha identificado múltiples factores que inciden en las decisiones de localización, los cuales se agrupan en categorías demográficas, geográficas, de gestión y normativas:

3.1. Factores demográficos

La densidad poblacional es uno de los principales determinantes de la demanda de disposición. Un mayor número de habitantes en un área conlleva mayor generación de residuos y, por tanto, mayor necesidad de recipientes. Este factor se cuantifica a través de modelos que estiman la generación por habitante, como el propuesto por Karadimas et al. (2005; 2008):

$$R_i = P_i * G$$

Donde:

- R_i = residuos generados en la zona i
- P_i = población en la zona
- G = tasa de generación per cápita

3.2. Factores geográficos

Las condiciones físicas del territorio, como accesibilidad vial, topografía y disponibilidad de espacio, afectan la ubicación óptima. El análisis espacial mediante herramientas SIG permite definir radios de cobertura y zonas de difícil acceso Koushik et al. (2017). Una restricción generalmente aplicada para garantizar cobertura es:

$$D_{ij} \leq D_{max}$$

Siendo D_{ij} la distancia entre generador y recipiente, y D_{max} el umbral normativo aceptado.

3.3. Factores de gestión

Incluyen la frecuencia de recolección y su relación con el volumen generado y capacidad de los recipientes. Su análisis permite dimensionar adecuadamente el sistema como el propuesto por Ugwuishiwu et al. (2020) y Aremu et al. (2012):

$$N_i = \left[\frac{R_i}{C * F}\right]$$

Donde:

- R_i = residuos generados en la zona i
- N_i = número de recipientes requeridos
- C = capacidad del recipiente
- F = frecuencia de recolección

3.4. Factores normativos

Se refieren a regulaciones que establecen criterios técnicos, espaciales y de servicio mínimo. Estos factores suelen incorporarse como restricciones dentro de los modelos de optimización, por ejemplo:

$$\sum_{j \in J_i} x_j \geq 1 \; \forall_i \in I$$

Este tipo de restricciones asegura que cada punto de demanda esté cubierto por al menos un recipiente dentro del rango permitido, en donde x_j es una variable binaria que toma el valor de uno cuando el recipiente j está asignado a un punto de demanda y cero en caso contrario. Esto garantiza que cada punto de demanda tenga al menos un recipiente dentro del rango de cobertura permitido (Letelier et al., 2022; Singh et al., 2022).

Otros elementos importantes para considerar refieren a la restricción de localización de cestas de disposición en lugares con necesidades particulares, tales como hospitales, iglesias o centros escolares.

4. Modelos de optimización en el problema de localización de recipientes de residuos sólidos

El problema de localización de recipientes de residuos sólidos se ha abordado desde diferentes perspectivas de optimización, cuyo propósito es encontrar soluciones eficientes y sostenibles. En general, los criterios de optimización más recurrentes son:

- Minimizar el costo total del sistema (inversión, operación y mantenimiento).
- Maximizar la cobertura de usuarios o áreas urbanas.
- Minimizar la distancia promedio entre los usuarios y los recipientes.
- Optimizar la frecuencia de recolección o el uso de recursos.
- Minimizar las emisiones asociadas al transporte o las rutas de recolección.

En este contexto, la pregunta clave es: ¿qué se busca optimizar? La respuesta depende del enfoque del estudio, pero en la mayoría de los casos se trata de lograr un equilibrio entre cobertura del servicio, costo y eficiencia operativa.

A continuación, se presentan los tres tipos de modelos más comunes en la literatura, clasificados según su naturaleza: modelos matemáticos, algoritmos heurísticos y metaheurísticos, y modelos soportados en SIG.

4.1. Modelos matemáticos

Los modelos matemáticos, en particular los de programación lineal entera mixta (MILP), son ampliamente utilizados para formular el problema como un conjunto de variables, restricciones y

funciones objetivo. Estos modelos permiten representar explícitamente las decisiones y limitaciones del sistema.

Es el caso de Rossit et al. (2017), quienes desarrollaron un modelo MILP multiobjetivo para ubicar contenedores de residuos separados. Los criterios de optimización considerados fueron minimizar el costo de inversión y minimizar la distancia promedio entre hogares y recipientes. La formulación incluyó variables binarias x_j para la instalación del contenedor j, así como restricciones de capacidad y cobertura. Para resolver el problema multiobjetivo, utilizaron dos técnicas de solución: el método de ponderación y AUGMECON2, una mejora del método de ε-restricciones.

Por su parte, Letelier et al. (2022) aplicaron modelos MILP para residuos domésticos y reciclables en Santiago de Chile, con objetivos como maximizar la cobertura y minimizar el costo. Su enfoque se basó en el modelo LSCP (Location Set Covering Problem) para cobertura mínima.

A su vez, Rossit y Bard (2024) desarrollaron un modelo matemático de programación lineal entera mixta (MILP) con enfoque biobjetivo y robusto, orientado a diseñar una red eficiente de puntos de recolección de residuos. El modelo busca minimizar el costo total del sistema y la frecuencia de recolección, incorporando la incertidumbre en la generación de residuos. Para obtener soluciones eficientes, los autores utilizaron el método de la ε-restricción aumentada (AUGMECON2) y aplicaron una formulación de optimización robusta que permite ajustar el grado de robustez de las soluciones según la tolerancia al riesgo del sistema. Este enfoque facilita decisiones más adaptativas y seguras frente a la variabilidad operativa esperada en entornos urbanos.

4.2. Algoritmos heurísticos y metaheurísticos

Cuando el problema escala en complejidad (mayores zonas, más variables), los métodos exactos pueden ser ineficientes. Por ello, se utilizan heurísticas (reglas de decisión) y metaheurísticas (metodologías generalizadas como el algoritmo genético, la optimización por enjambre de partículas, la búsqueda tabú, etc.) para encontrar buenas soluciones factibles con un costo computacional admisible.

Cavallin et al. (2020) usaron una combinación de MILP con la heurística de Búsqueda de Vecindad Grande (LNS) para diseñar redes de pre-recolección. El algoritmo optimizó simultáneamente la ubicación de contenedores, las rutas de recolección y la frecuencia óptima de vaciado. Por otro lado, Vu y Kaddoum (2017) propusieron un sistema inteligente de recolección de residuos que integraba IoT, clustering con K-means, predicción con regresión logística y optimización de rutas con algoritmos genéticos. Este enfoque es representativo de los modelos de optimización bajo paradigmas 4.0.

4.3. Modelos soportados en Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG permiten trabajar con datos georreferenciados, facilitando el análisis espacial de cobertura, accesibilidad, distribución de la población y restricciones urbanas. A menudo se combinan con otros modelos para optimizar decisiones.

Koushik et al. (2017) utilizaron ArcGIS Network Analyst para identificar ubicaciones subóptimas de recipientes y proponer una redistribución más eficiente, aplicando análisis de área de servicio, buffers y redes viales para evaluar cobertura y distancia. Por otro lado, Azri et al. (2023) propusieron una metodología en tres fases usando teléfonos inteligentes para mapear la basura, análisis espacial con el vecino más cercano, y agrupamiento con K-means para determinar la ubicación óptima de contenedores, estimando además la reducción de huella de carbono. Finalmente, Blazquez y Paredes-Belmar (2020) combinaron MILP con SIG para diseñar rutas eficientes de recolección y estimar la cobertura de población en función del radio de servicio, utilizando la estrategia de cobertura máxima (MCLP) y distancia umbral para minimizar desplazamientos.

5. Discusión

El análisis de los diferentes enfoques identificados en la literatura permite destacar elementos comunes y diferencias importantes en la forma como se ha modelado el problema de localización de recipientes de residuos sólidos. Una observación clave es que los estudios que utilizan programación lineal entera mixta (MILP) comparten estructuras similares en sus modelos, con funciones objetivo que buscan minimizar el costo total del sistema, reducir distancias entre usuarios y contenedores, o maximizar la cobertura territorial. Estos modelos se caracterizan por su precisión en la formulación matemática y su capacidad para representar explícitamente restricciones como la capacidad de los recipientes, la cobertura mínima y la asignación de usuarios. Sin embargo, su aplicación suele estar limitada a escalas manejables, dado su elevado costo computacional en escenarios complejos.

Por el contrario, los modelos basados en algoritmos heurísticos y metaheurísticos permiten una mayor flexibilidad frente a la incertidumbre y al tamaño del problema. Estos enfoques, como los algoritmos genéticos o de búsqueda de vecindad, son más adecuados cuando se deben considerar múltiples objetivos simultáneos o escenarios dinámicos, como la variación en la generación de residuos o la necesidad de rutas de recolección eficientes. Adicionalmente, permiten una exploración más amplia del espacio de soluciones, aunque no garantizan encontrar el óptimo global.

Por su parte, los modelos soportados en sistemas de información geográfica (SIG) se centran en el análisis espacial y visual del problema. Estos modelos priorizan la cobertura geográfica, la accesibilidad y la integración de variables espaciales como la red vial, la ubicación de zonas sensibles y la disponibilidad de espacio público. Los SIG son especialmente útiles para apoyar decisiones en tiempo real y en territorios con fuerte variabilidad espacial.

Una característica compartida por todos los enfoques revisados es que la variable de decisión central es la ubicación óptima de los recipientes. No obstante, muchos de estos estudios también incluyen otras decisiones críticas como el número de recipientes necesarios, su tipo o capacidad, la asignación de zonas de servicio, e incluso la frecuencia de recolección, como lo aborda de forma explícita el modelo de Rossit y Bard (2024), que integra este parámetro dentro de su

formulación biobjetivo. Esta integración permite abordar el problema desde una perspectiva más holística y cercana a la realidad operativa.

En cuanto a los factores considerados, se observa que algunos son prácticamente universales, como la densidad poblacional, la generación estimada de residuos y la accesibilidad física. Estos elementos aparecen en la mayoría de los estudios y se consideran fundamentales para garantizar un sistema funcional. En contraste, otros factores como las preferencias ciudadanas, aspectos estéticos o regulaciones específicas suelen ser omitidos o simplificados, especialmente en modelos genéricos, lo que los ubica como factores prescindibles.

A continuación, en la Tabla 1, se presenta una comparativa que resume los principales elementos abordados por cada uno de los estudios revisados, cruzando tipo de modelo, decisiones modeladas y factores considerados.

Tabla 1. Comparación de estudios revisados

Estudio	Tipo de modelo	Variable principal	Otras decisiones modeladas	Factores incluidos	Enfoque de optimización
Rossit et al. (2017)	MILP	Ubicación	Número de recipientes, distancia entre usuarios y recipientes	Densidad, capacidad, cobertura	Multiobjetivo (costo + distancia)
Letelier et al. (2022)	MILP + SIG	Ubicación	Tipo y capacidad, cobertura	Generación, distancia, preferencia vecinal	MCLP y LSCP
Rossit y Bard (2024)	MILP robusto	Ubicación y frecuencia de recolección	Número de recipientes, frecuencia, costos bajo incertidumbre	Generación variable, capacidad, accesibilidad	Minimización biobjetivo bajo incertidumbre
Cavallin et al. (2020)	MILP + LNS	Ubicación	Rutas, frecuencia, costo	Generación, red vial, distancia, espacio urbano	Optimización integrada
Koushik et al. (2017)	SIG	Ubicación	Rediseño de red, zonas desatendidas	Cobertura, distancia, accesibilidad	Análisis espacial con buffers
Azri et al. (2023)	SIG + ML	Ubicación	Reducción de huella de carbono	Patrón de basura, densidad, proximidad urbana	Clustering + análisis espacial
Ugwuishiwu et al. (2020)	SIG + Fórmulas	Ubicación	Número de contenedores	Generación, distancia, frecuencia de recolección	Cálculo estático + redes GIS
Vu y Kaddoum (2017)	IoT + heur.	Ubicación	Predicción, rutas, agrupamiento	Estado de llenado, geolocalización	Genéticos + clustering dinámico
Karadimas et al. (2005)	MILP + SIG	Ubicación	Carga inicial y final, eficiencia	Generación, espacio disponible, red vial	Minimización de costos + cobertura

6. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

El análisis realizado evidencia la creciente complejidad del problema de localización de recipientes de residuos sólidos y la evolución de los enfoques metodológicos utilizados para su abordaje. En particular, se observa una tendencia hacia la integración de factores multidimensionales, el uso de herramientas de análisis espacial avanzadas y la incorporación de criterios operativos y dinámicos como la frecuencia de recolección, el monitoreo en tiempo real y la variabilidad en la generación de residuos.

A partir de los hallazgos presentados, una línea futura de trabajo relevante consiste en el diseño de modelos integradores que combinen optimización matemática, análisis espacial mediante SIG y tecnologías emergentes como IoT. Estos modelos permitirían no solo definir la ubicación óptima de los recipientes, sino también incorporar la variabilidad temporal, los patrones de uso ciudadano y las restricciones logísticas en contextos urbanos reales.

Además, se abre un espacio importante para desarrollar enfoques robustos y adaptativos, que consideren la incertidumbre inherente a los datos de generación de residuos, cambios en el comportamiento ciudadano y restricciones institucionales. Esto facilitaría la toma de decisiones más realista y aplicable para autoridades locales, operadores logísticos y planificadores urbanos.
Finalmente, la validación empírica de los modelos mediante su aplicación en estudios de caso concretos puede contribuir a cerrar la brecha entre el enfoque teórico y las necesidades prácticas de la gestión de residuos sólidos. Así, se podrían formular estrategias sostenibles y eficientes ajustadas a las condiciones específicas de cada territorio, en línea con los principios de economía circular, eficiencia urbana y desarrollo sostenible.

7. Referencias

- Aremu, A., & Sule, B. (2012). A case study evaluation of the impacts of optimised waste bin locations in a developing city. Civil Engineering and Environmental Systems, Vol. 29, No. 2, pp. 137–146. https://doi.org/10.1080/10286608.2012.672411
- Azri, S., Ujang, U., & Abdullah, N. S. (2023). Within cluster pattern identification: A new approach for optimizing recycle point distribution to support policy implementation on waste management in Malaysia. Waste Management & Research, Vol. 41, No. 3, pp. 688–699. https://doi.org/10.1177/0734242X221123489
- Blazquez, C., & Paredes-Belmar, G. (2020). Network design of a household waste collection system: A case study of the commune of Renca in Santiago, Chile. Waste Management, Vol. 116, pp. 179–189. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.027
- Cavallin, A., Rossit, D. G., Herrán Symonds, V., Rossit, D. A., and Frutos, M. (2020). Application of a methodology to design a municipal waste pre-collection network in real scenarios. Waste Management & Research, Vol. 38, No. 1_suppl, pp. 117–129. https://doi.org/10.1177/0734242X19894630
- Karadimas, N. V., Mavrantza, O. D., and Loumos, V. G. (2005). GIS integrated waste production modeling. In Proceedings of the International Conference on Computer as a Tool (EUROCON '05), pp. 1279–1282. https://doi.org/10.1109/EURCON.2005.1630190

- Karadimas, N.V., & Loumos, V.G. (2008). GIS-based modelling for the estimation of municipal solid waste generation and collection. Waste Management Research, Vol. 26, No. 4, pp. 337–346. http://dx.doi.org/10.1177/0734242X07081484
- Koushik, P., Amit, D., and Akhouri, P. K. (2017). Using GIS to Locate Waste Bins: a Case Study on Kolkata City, India. Journal of Environmental Science and Management, Vol. 20, No. 1, pp. 95-105. https://doi.org/10.47125/jesam/2017_1/10
- Letelier, C., Blazquez, C., and Paredes-Belmar, G. (2022). Solving the bin location–allocation problem for household and recycle waste generated in the commune of Renca in Santiago, Chile. Waste Management & Research, Vol. 40, No. 2, pp. 154–164. https://doi.org/10.1177/0734242X20986610
- Rossit, D. G., Tohmé, F. A., Frutos, M., and Broz, D. R. (2017). An application of the augmented ε-constraint method to design a municipal sorted waste collection system. Decision Science Letters, Vol. 6, No. 4, pp. 323–336. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130793
- Rossit, D. G., and Nesmachnow, S. (2022). Waste bins location problem: A review of recent advances in the storage stage of the Municipal Solid Waste reverse logistic chain. Journal of Cleaner Production, Vol. 342, 130793.
- Rossit, D., and Bard, J. (2024). Solving the waste bin location problem with uncertain waste generation rate: A bi-objective robust optimization approach. Waste Management & Research, Vol. 00, No. 0, pp. 1-14.
- Shibeshi, A., Gebreabe, S. T., Tiruneh, A., Kassahun, E., & Sime, T. (2024). Integrated municipal solid waste management using ArcGIS tools: A case of akaki-kality sub-city, addis ababa, ethiopia. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 31, pp. 59906–59930. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35163-z
- Singh, A. (2022). Sustainable Waste Management Through Systems Engineering Models and Remote Sensing Approaches. Circular Economy and Sustainability, Vol. 2, pp. 1105-1126. https://doi.org/10.1007/s43615-022-00151-3
- Ugwuishiwu, B. O., Nwoke, O. A., Okechukwu, C. H., and Echiegu, E. A. (2020). GIS-based system analysis for waste bin location in Enugu municipality. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Vol. 22, No. 4, pp. 250-259.
- Vu, D. D., and Kaddoum, G. (2017). A Waste City Management System for Smart Cities Applications. In: 2017 Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO), Riga, Latvia, 2–3 November 2017, pp. 225–229. https://doi.org/10.1109/RTUWO.2017.8228538

Sobre los autores

- **Édgar Eduardo Córdoba Sarmiento**: Ingeniero Industrial, Magister en ingeniería industrial. Profesor auxiliar. ededcosa@uis.edu.co
- **Jennifer Tatiana Rueda Gómez**: Ingeniera Industrial. jennifer2202268@correo.uis.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)