

Resolución simultánea de problemas de localización-ruteo en la cadena logística inversa de los residuos urbanos

Diego Rossit¹[0000-0002-8531-445X], Begoña González²[0000-0002-7915-0655],
Mariano Frutos³[0000-0003-2585-4195] y Máximo Méndez²[0000-0002-7133-7108]

¹ Departamento de Ingeniería, INMABB, Universidad Nacional del Sur
(UNS)-CONICET, Argentina
`diego.rossit@uns.edu.ar`

² Instituto Universitario SIANI, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España
`bego.landin@uplgc.es`, `maximo.mendez@uplgc.es`

³ Departamento de Ingeniería, IIESS, Universidad Nacional del Sur
(UNS)-CONICET, Argentina
`mfrutos@uns.edu.ar`

Abstract. La administración del sistema de residuos sólidos urbanos es una tarea fundamental en las ciudades contemporáneas, dada la problemática ambiental, social y económica que surge cuando su funcionamiento es deficiente. El desarrollo de herramientas informáticas que asistan en la toma de decisiones puede contribuir a la gestión de este sistema complejo, donde normalmente las decisiones se toman de manera parcializada abordando únicamente una de las etapas de este problema. Este trabajo trata los beneficios de abordar el problema de manera integral, indentificándose los trabajos que ya fueron abordados en la literatura y proponiendo nuevas líneas de trabajo en esta dirección. Luego de revisar la literatura en el tema, se concluye que hay una existencia relativamente escasa de trabajos en el tema y en particular una falta casi total de modelos robustos y estocásticos.

Keywords: Logística inversa · residuos sólidos urbanos · Problemas integrales de Localización-ruteo · Problemas de diseño de red de puntos limpios · Problemas de recolección de residuos.

La definición de logística inversa implica, primero, el transporte físico de los productos usados desde el consumidor final hacia el punto de recupero o disposición, para luego, en la siguiente etapa, proceder a transformar estos desechos en productos que puedan reincorporarse al sistema productivo o, en su defecto, realizar una disposición final adecuada [4]. De ambas etapas el foco de este trabajo se centra en la primera donde, naturalmente, el concepto de logística inversa involucra la gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) generados en las zonas urbanas.

La cadena logística de los RSU incluye una serie de eslabones variados que van desde la generación en los hogares, la acumulación en puntos limpios, la

recolección y el traslado de los residuos y, finalmente, su tratamiento o disposición final. El manejo inadecuado de cualquiera de estos eslabones puede tener implicaciones de gran alcance, que incluyen no solo preocupaciones ambientales sino también dimensiones económicas y sociales [10]. De todas estas etapas, este trabajo se centra en la resolución integral del problema de acumulación de residuos en puntos limpios y el diseño de rutas para la recolección. Muchas veces este tipo de problemas se resuelven de manera separada. Es decir, primero se diseña la red de acumulación de residuos en puntos limpios, y luego se planifica la recolección del residuo acumulado en esos puntos limpios.

El diseño de la red de puntos implica definir la ubicación y capacidad de estos puntos. Por otro lado, la recolección de residuos implica el diseño y programación de rutas en el horizonte de planificación. Naturalmente, las soluciones de ambos problemas están altamente relacionadas. Por ejemplo, por un lado la capacidad de almacenamiento de los puntos limpios determinará la frecuencia de visitas para evitar desbordes de los mismos. Además, la disponibilidad y el tipo de vehículos afectan la distribución y capacidad de los puntos limpios en una solución óptima (global) [7]. Por lo tanto, existe una compensación entre el costo de instalación de los puntos limpios y el costo del plan de recolección, por lo que resolver ambos problemas simultáneamente puede ser beneficioso desde una perspectiva de costos. Ha sido demostrado en la literatura que la resolución de ambos problemas de manera integrada puede generar ahorros importantes en los costos logísticos [9], lo cual puede ser aún más importantes en países con costos logísticos relativamente altos, como Argentina [1]. Sin embargo, como se mencionó anteriormente las soluciones en la literatura [5, 9] a menudo abordan cada problema por separado. Esto se debe a la complejidad de abordar ambos problemas conjuntamente: resolver solo el diseño de la ruta de recolección equivale a resolver un problema de ruteo de vehículos (VRP, por sus siglas en inglés *Vehicle Routing Problem*), un conocido problema NP-difícil [12] y resolver el problema de dimensionado de puntos limpios equivale a resolver un problema de localización de instalaciones (FLP, por sus siglas en inglés *Facility Location Problem*), un conocido problema NP-difícil [2].

A pesar de existir pocos trabajos en la bibliografía relacionada que resuelvan conjuntamente este problema de localización-ruteo [9], se han realizado algunos abordajes interesantes para este problema de optimización; incluyendo tanto herramientas exactas, como el uso de descomposición de Benders [7], como la aplicación de herramientas metaheurísticas, como los algoritmos genéticos [8] o herramientas basadas en *Variable Neighborhood Search* [3]. Sin embargo, aún existe una carencia casi total de trabajos que consideren aleatoriedad en los parámetros de entrada excepto algunos trabajos de aplicación acotada [6]. Sería relevante poder estudiar este tipo de abordajes ya que se conoce que la cadena logística inversa de RSU puede estar afectada por importantes fuentes de incertidumbre principalmente en la tasa de generación de residuos [11]. Un primer enfoque de trabajo en esta línea podría ser generar un modelo de optimización robusta donde se considere que la variación aleatoria de los parámetros está delimitada dentro de cierto rango pero no deben hacer suposiciones sobre la

distribución probabilística de los mismos. Por ende, el objetivo de este trabajo es analizar los principales desarrollos realizados en la literatura en problemas integrados de localización-ruteo en la gestión de RSU y a partir de este análisis identificar posibles líneas de trabajo a futuro.

Acknowledgements

Los autores agradecen el apoyo económico otorgado por la 319RT0574 - Red Iberoamericana Industria 4.0 de CYTED a través de proyectos de investigación, por los proyectos de investigación PICT-2021-I-INVI00217 de la Agencia I+D+i de Argentina y PIBAA 0466CO del CONICET y el "Apoyo para la actividad de I+D+i Campus de Excelencia Internacional CEI CANARIAS-ULPGC" de la Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento del Gobierno de Canarias, España.

References

1. Asociación Latinoamericana de Logística: Indicadores costos logísticos países miembros de ALALOG (2023), available in <https://www.alalog.org/es/studies> (Accessed: sep-2023).
2. Cornuéjols, G., Sridharan, R., Thizy, J.: A comparison of heuristics and relaxations for the capacitated plant location problem. *European journal of operational research* **50**(3), 280–297 (1991)
3. Cubillos, M., Wöhlk, S.: Solution of the maximal covering tour problem for locating recycling drop-off stations (2021)
4. Fleischmann, M., Bloemhof, J., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J., Van Wassenhove, L.: Quantitative models for reverse logistics: A review. *European journal of operational research* **103**(1), 1–17 (1997)
5. Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., Musmanno, R., Vigo, D.: Operations research in solid waste management: A survey of strategic and tactical issues. *Computers & Operations Research* **44**, 22–32 (2014)
6. Jammeli, H., Argoubi, M., Masri, H.: A bi-objective stochastic programming model for the household waste collection and transportation problem: case of the city of sousse. *Operational Research* **21**(3), 1613–1639 (2021)
7. Mahéo, A., Rossit, D., Kilby, P.: Solving the integrated bin allocation and collection routing problem for municipal solid waste: a benders decomposition approach. *Annals of Operations Research* **322**(1), 441–465 (2023)
8. Rossit, D., González, B., Frutos, M., Méndez, M.: An allocation-routing problem in waste management planning: Exact and heuristic resolution approaches. In: *Ibero-American Congress of Smart Cities*. pp. 92–107. Springer (2023)
9. Rossit, D., Nesmachnow, S.: 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* **342**, 130793 (2022)
10. Rossit, D., Toutouh, J., Nesmachnow, S.: Exact and heuristic approaches for multi-objective garbage accumulation points location in real scenarios. *Waste Management* **105**, 467–481 (2020)

11. Soltani, A., Sadiq, R., Hewage, K.: The impacts of decision uncertainty on municipal solid waste management. *Journal of environmental management* **197**, 305–315 (2017)
12. Toth, P., Vigo, D.: *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. SIAM (2014)