

Avances en un modelo estocástico para la localización y dimensionamiento de puntos limpios en la gestión de residuos urbanos

Diego Rossit¹[0000-0002-8531-445X] and Jonathan Bard²[0000-0001-8569-0909]

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

² Graduate Program in Operations Research & Industrial Engineering, University of
Texas at Austin, Estados Unidos
jbard@utexas.edu

Abstract. Son conocidos los pasivos ambientales, económicos y sociales que puede acarrear el mal funcionamiento de un sistema de residuos urbanos. Sin embargo, para poder gestionar eficientemente dicho sistema es crucial que se haya realizado una cuidadosa planificación del mismo. Uno de los factores que puede afectar la etapa de planificación es la carencia de herramientas que permitan considerar las fuentes de incertidumbre que puedan afectar al sistema. En esta línea, este trabajo propone un enfoque estocástico para determinar la frecuencia de recolección en puntos limpios utilizando como base un modelo robusto previamente desarrollado y considerando como fuente de incertidumbre la variabilidad en la tasa de generación de residuos. Este enfoque fue aplicado en pruebas preliminares basadas en casos simulados de Bahía Blanca. Los resultados preliminares permiten plantear que la metodología propuesta puede mejorar las soluciones obtenidas por el modelo puramente robusto lo cual puede constituir un incentivo para que las autoridades mejoren el proceso de recopilación de datos para poder mejorar la estimación de la tasa de generación y así poder aplicar herramientas estocásticas para resolver este problema.

Keywords: Gestión de residuos sólidos urbanos · Localización y dimensionamiento de puntos limpios · Optimización estocástica · Programación matemática.

En las ciudades contemporáneas, el adecuado funcionamiento del sistema de gestión de residuos sólidos municipales (RSU) se ha vuelto esencial para preservar la calidad de vida de los ciudadanos. Gestionar eficientemente los residuos permite, entre otras cuestiones, disminuir los impactos ambientales y sociales que genera la cadena logística inversa de RSU y reducir el costo del servicio, el cual en nuestro país constituye una parte significativa de los presupuestos municipales [2]. Para que poder gestionar eficientemente el sistema de RSU, al igual que en otros sistemas complejos, la fase de planificación de la capacidad es crucial. No obstante, el éxito de la etapa de planificación estará muy relacionado con

la precisión de los datos de entrada. Como en muchos sistemas donde interviene la actividad humana, el sistema de gestión de RSU está afectado por grandes fuentes de incertidumbre [7]. Una de las principales fuentes de incertidumbre que puede afectar la planificación de un sistema de RSU de un área urbana es la tasa de generación residuos, ya que es un parámetro crítico para estimar la capacidad del sistema. A diferencia de otras etapas de la cadena logística inversa de RSU, el impacto de la incertidumbre en la tasa de generación de residuos en la localización y dimensionamiento de puntos limpios -que constituyen el punto de ingreso al sistema en muchas ciudades actuales- no ha sido suficientemente estudiado en la literatura relacionada [4]. Teniendo en cuenta esto, este trabajo preliminar propone realizar aportes en esta línea de investigación, es decir, el desarrollo de herramientas de planificación que incorporen la incertidumbre en la tasa de generación de residuos en el problema de localización y dimensionamiento de puntos limpios.

Esta línea ya fue parcialmente abordada en desarrollos previos en [6, 5]. En estos trabajos se desarrolló un modelo biobjetivo robusto para diseñar la red de puntos limpios. Los dos objetivos considerados fueron minimizar el costo de instalación de la red y la frecuencia de recolección necesaria para vaciar los puntos (como una aproximación a los costos logísticos de transporte posteriores). Se aplicó la metodología de Bertsimas y Sim [1] para transformar un modelo de programación lineal mixto-entero determinístico en un modelo robusto. Las soluciones encontradas sobre casos simulados de la ciudad de Bahía Blanca permitieron evaluar el trade-off entre la robustez de la solución y el costo de implementación de la misma. En este trabajo, se propone continuar con esta línea de trabajo y pasar desde una metodología puramente robusta, donde se considera que se posee poca información de la distribución de probabilidad de los parámetros aleatorios, a una metodología estocástica, donde se considera que se cuenta con mayor información para estimar escenarios probables de los parámetros aleatorios. Los modelos robustos ya desarrollados evidenciaron que este problema es complejo de resolver computacionalmente, ya que es una extensión del modelo conocido como *Capacitated Facility Location Problem*, el cual ha sido catalogado como NP-hard [3]. Por ende, teniendo en cuenta que utilizar la optimización estocástica para resolver el modelo completo podría aumentar en gran medida la complejidad del modelo abordado (sobre todo cuando se aplica para resolver escenarios realistas), en este primer trabajo se propone:

1. Utilizar el modelo robusto ya desarrollado en [5] para confeccionar una solución inicial considerando el rango de variación estimado de la tasa de generación para establecer la localización de los puntos limpios y la capacidad a instalar en cada punto limpio.
2. Aplicar un modelo estocástico simplificado en el cual se consideren fijas la localización y la capacidad instalada en los puntos limpios para redefinir la frecuencia de recolección necesaria considerando un mayor nivel de información de la tasa de generación de residuos.

De acuerdo con los resultados iniciales de experimentación sobre casos simulados de la ciudad de Bahía Blanca, este enfoque tiene el potencial de mejorar

significativamente las soluciones obtenidas utilizando sólo el modelo robusto -en términos de frecuencia de recolección necesaria- al contar con una mayor grado de información que permite estimar mejor la tasa de generación. Por ende, se considera que este trabajo puede contribuir en dos aspectos principales. Por un lado, genera un aporte a la literatura relacionada ya que, como se mencionó anteriormente, no existen muchos trabajos que apliquen herramientas de planificación estocásticas en este problema particular. Contar con herramientas de este tipo otorgaría mayor flexibilidad a los tomadores de decisiones en las etapas de planificación y operación del sistema para enfrentar las usuales fluctuaciones en la tasa de generación de residuos que ocurren en una zona urbana. Por otro lado, puede constituir un incentivo para que los agentes tomadores de decisiones evalúen intensificar el proceso de recolección de información sobre la generación de residuos -que, por lo menos en la ciudad del caso de estudio, no es muy eficiente - para mejorar las estimaciones sobre los escenarios posibles y poder aplicar modelos de planificación avanzados basados en optimización estocástica.

Acknowledgements

El trabajo del primer autor fue apoyado por una beca posdoctoral cofinanciada por la Fundación Fulbright y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET).

References

1. Bertsimas, D., Sim, M.: The price of robustness. *Operations research* **52**(1), 35–53 (2004)
2. Cavallin, A., Rossit, D.G., Herran, V., Rossit, D.A., Frutos, M.: Application of a methodology to design a municipal waste pre-collection network in real scenarios. *Waste Management & Research* **38**(1_suppl), 117–129 (2020)
3. 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)
4. 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)
5. Rossit, D.G., Bard, J.: Solving the waste bin location problem with uncertain waste generation rate: a bi-objective robust optimization approach. *Waste Management & Research* In press
6. Rossit, D.G., Bard, J.: Consideración de incertidumbre en la tasa de generación de residuos para el problema de localización de puntos limpios. In: XXXIV Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa. Santa Rosa, La Pampa (2023)
7. Singh, A.: Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal. *Journal of environmental management* **240**, 259–265 (2019)