Facultad de Comunicación

Universidad ORT Uruguay

Gestión de residuos urbanos en Montevideo: distribución territorial de contenedores, riesgo de desborde y escenarios de mejora

Entregado como requisito para la obtención del título de Licenciado en Comunicación orientación Analítica de Datos e Innovación

Mikaela de Arruabarrena - 290049

Luca Ghizzo - 269194

Facultad de Comunicación, Universidad ORT Uruguay

Tutor: Alfredo Baliño

2026

Declaración de objeto del trabajo y uso de elementos de terceros

Este trabajo de fin de carrera es un trabajo académico que se origina en el proceso formativo de la universidad. No se trata de un producto comercial y su difusión pública no está autorizada.

Este trabajo puede incluir elementos de propiedad intelectual de terceros, según se detalla en el Anexo correspondiente. No debe ser divulgado fuera del ámbito académico sin permiso de los propietarios de estos elementos.

Los autores del trabajo declaran que han realizado sus mejores esfuerzos por identificar estos elementos que son propiedad de terceros, y liberan a la universidad de responsabilidades originadas por cualquier omisión.

Elemento	Ubicación	Titular de la propiedad intelectual	Permiso de uso
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Contenedores domiciliarios (https://catalogodatos.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Circuitos de recolección (https://catalogodatos.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Levantes de contenedores (https://catalogodatos.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Reclamos SUR (https://catalogodatos.gub.uy/dataset/reclamos-registrados-en-el-sistema-unico-de-reclamos-de-la-intendencia-de-montevideo)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Instituto Nacional de Estadística: Población por municipio (https://www.ine.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Instituto Nacional de Estadística	Datos públicos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Câmara Municipal de Lisboa: Contenedores (LIXO)	Sección 3.3 y Anexo 1 (uso transversal en análisis comparativo)	Câmara Municipal de Lisboa	Datos abiertos

(https://dados.gov.pt/)			
Base de datos – Ayuntamiento de Valencia: Contenedores (https://datos.gob.es/)	Sección 3.3 y Anexo 1 (uso transversal en análisis comparativo)	Ayuntamiento de Valencia	Datos abiertos
Documento – UNEP: Global Waste Management Outlook (https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del análisis	United Nations Environment Programme	Acceso abierto
Documento – World Bank: What a Waste 2.0 (https://openknowledge.worldbank.org/)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del análisis	World Bank	Acceso abierto
Documento – BID: Gestión de residuos en América Latina (https://publications.iadb.org/)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del análisis	Banco Interamericano de Desarrollo	Acceso abierto
Artículo – Rossit & Nesmachnow: Waste Bins Location Problem (https://arxiv.org/abs/2202.13754)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del modelo	Autores	Acceso abierto
Artículo – Barrena et al.: Optimizing container location (https://www.witpress.com/)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del modelo	WIT Press	Uso académico
Artículo – IJSEAS: Municipal solid waste management (https://www.ijsea.com/)	Sección 2 (marco teórico)	IJSEAS	Acceso abierto
Artículo – Wilson & Kelling: Broken windows	Sección 2 (marco teórico)	Autores	Uso académico (cita)
Página web – Encyclopaedia Britannica: Broken windows theory (https://www.britannica.com/topic/broken-windows-theory)	Sección 2 (marco teórico)	Encyclopaedia Britannica	Uso informativo

Declaración de Autoría

Nosotros, Mikaela de Arruabarrena y Luca Ghizzo, declaramos que el trabajo que se presenta en esa obra es de nuestra propia mano. Podemos asegurar que:

La obra fue producida en su totalidad mientras realizábamos Plan de comunicación con base en análisis de datos

Cuando hemos consultado el trabajo publicado por otros, lo hemos atribuido con claridad.

Cuando hemos citado obras de otros, hemos indicado las fuentes. Con excepción de estas citas, la obra es enteramente nuestra.

En la obra, hemos acusado recibo de las ayudas recibidas.

Cuando la obra se basa en trabajo realizado juntamente con otros, hemos explicado claramente qué fue contribuido por otros, y qué fue contribuido por nosotros.

Ninguna parte de este trabajo ha sido publicada previamente a su entrega, excepto donde se han realizado las aclaraciones correspondientes.





Mikaela de Arruabarrena Fernández
24 de marzo 2026

Luca Ghizzo Silva
24 de marzo 2026

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Alfredo Baliño, nuestro tutor, por su dedicación, paciencia y orientación a lo largo de todo el proceso de esta investigación. Su apoyo y su valioso asesoramiento han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y su guía académica ha enriquecido la calidad de nuestro análisis.

Agradecemos profundamente a Francisco Arri, director de la carrera de Comunicación, orientación en Análisis de Datos e Innovación, por su constante apoyo académico y por su disposición para orientarnos. Su visión profesional y académica ha sido clave en nuestro desarrollo.

Nuestro agradecimiento también a Gabriel Mannise, director de Ecotecno, por habernos brindado la oportunidad de realizar una entrevista que nos permitió obtener una visión valiosa para la investigación. Su colaboración ha sido esencial para comprender los desafíos y avances en la gestión de residuos.

De igual manera, queremos agradecer a Fernando Nopitsch, exdirector de Limpieza de la Intendencia de Montevideo, por habernos brindado su tiempo y conocimiento durante una entrevista, lo cual contribuyó de manera significativa al análisis de los sistemas de recolección de residuos en la ciudad.

Agradecemos a todas las personas que nos brindaron un contacto y punto de vista, sin las cuales muchas de las perspectivas y datos que sustentan este trabajo no habrían sido posibles.

A nuestras familias y amigos, por ser nuestro sostén emocional a lo largo de este proceso. Su apoyo, comprensión y motivación nos impulsaron a seguir adelante en los momentos más desafiantes, permitiéndonos completar este proyecto con éxito.

Finalmente, queremos agradecer a la Universidad ORT Uruguay por habernos proporcionado todas las herramientas necesarias para llevar a cabo este Proyecto Final.

Resumen Ejecutivo

La gestión de residuos sólidos urbanos representa un desafío creciente para las ciudades, en particular en lo que refiere a la organización de los sistemas de recolección y almacenamiento. En este contexto, la red de contenedores domiciliarios cumple un rol central, ya que funciona como el primer punto de interacción entre la población y el sistema, y condiciona tanto el comportamiento de los usuarios como la eficiencia operativa del servicio.

Este trabajo analiza la organización territorial del sistema de contenedores domiciliarios de Montevideo, con el objetivo de evaluar si su distribución responde a la demanda potencial del servicio o si, por el contrario, sigue una lógica homogénea independiente de las características del territorio.

Para ello, se integraron distintas bases de datos abiertas de la Intendencia de Montevideo, incluyendo información sobre la localización de contenedores, circuitos de recolección, registros operativos y reclamos ciudadanos. Estos datos fueron complementados con información demográfica a nivel municipal y con un análisis comparativo de los sistemas de contenedores de Lisboa y Valencia.

Los resultados muestran que la distribución de contenedores en Montevideo no presenta una relación clara con variables clave como la densidad poblacional o la superficie de los municipios. En la práctica, esto implica que territorios con características muy distintas reciben una asignación de infraestructura relativamente similar. Esta lógica de distribución homogénea contrasta con lo observado en Lisboa y Valencia, donde la infraestructura se ajusta en mayor medida a las particularidades de cada zona.

A nivel operativo, el análisis evidencia diferencias importantes en el desempeño del sistema entre municipios. En particular, se identificaron variaciones significativas en la proporción de contenedores críticos, definidos como aquellos que permanecen más de tres días sin ser recolectados. Mientras que algunos municipios presentan niveles muy bajos de criticidad, otros concentran una proporción considerablemente mayor, lo que se refleja también en los patrones de reclamos ciudadanos.

A partir de estos resultados, se desarrolló un modelo de *balance demanda-capacidad* que permitió construir un índice de riesgo de desborde para cada municipio. Este índice fue utilizado para simular distintos escenarios de mejora, incluyendo la redistribución de contenedores existentes, la incorporación de nueva infraestructura y el ajuste en la frecuencia de recolección.

Los resultados de estas simulaciones muestran que es posible reducir los desequilibrios actuales del sistema mediante intervenciones basadas en criterios de demanda territorial. En particular, la expansión selectiva de la infraestructura aparece como

una alternativa más eficiente en términos económicos y logísticos en comparación con el aumento de la frecuencia de recolección.

En conjunto, el trabajo aporta evidencia empírica sobre los desajustes territoriales en la distribución del sistema de contenedores de Montevideo y propone una base analítica para orientar futuras decisiones de planificación. Los resultados sugieren que avanzar hacia un modelo de asignación basado en la demanda, en lugar de criterios homogéneos, podría contribuir a mejorar tanto la eficiencia operativa del sistema como la calidad del servicio para la población.

Palabras clave: Análisis de datos - Circuito de recolección - Contenedores domiciliarios - Datos abiertos - Distribución territorial - Gestión urbana - Logística inversa - Modelo matemático - Montevideo - Residuos sólidos urbanos - Waste Bins Location Problem

Índice

1. Introducción 9

1.1 Objetivo general 9

2. Marco Teórico 11

2.1 La gestión de residuos urbanos como problema logístico 11

2.2 Factores institucionales y laborales en la operación del sistema 12

2.3 El Waste Bins Location Problem: localización y distribución de contenedores 13

2.4 Modelos matemáticos aplicados al Waste Bins Location Problem 15

3. Marco Metodológico 17

3.1 Estrategia metodológica: triangulación de fuentes 17

3.1.1 Dimensión institucional: estructura organizacional de la Intendencia de Montevideo *18*

3.2 Análisis cuantitativo: bases de datos y construcción de indicadores 18

3.2.1 Preparación y limpieza de los datos *19*

3.3 Comparación internacional 20

3.3.1 Datos de contenedores Lisboa *21*

3.3.2 Datos de contenedores Valencia *21*

3.3.3 Procesamiento e integración de los datos para el análisis comparativo *22*

3.3.4 Comparación entre ciudades *23*

3.4 Evidencia cualitativa: entrevistas 23

3.5 Modelo matemático 24

3.5.1 Construcción del índice de riesgo de desborde *25*

3.5.1.1 Definición del índice 25

3.5.1.2 Cálculo de la demanda 25

3.5.1.3 Cálculo de la capacidad 26

3.5.1.4 Establecimiento de umbrales de riesgo 26

3.6 Consideraciones metodológicas 27

3.7 Uso de Inteligencia Artificial Generativa 28

4. Análisis 29

4.1 Distribución territorial de la infraestructura en Montevideo 29

4.2 Infraestructura y demanda potencial: evidencia de desajuste territorial 32

4.3 Conflictividad laboral como factor condicionante del sistema 35

4.4 Organización operativa del sistema: distribución de contenedores por circuito 36

4.5 Contenedores críticos: evidencia de desempeño desigual del sistema 40

4.6 Reclamos ciudadanos vinculados al sistema de contenedores 44

4.7 Comparación internacional: Lisboa y Valencia 51

4.7.1 Comparación de infraestructura general *51*

4.7.2 Diferencias en el modelo de gestión *52*

4.7.3 Reflexión comparada y límites interpretativos *52*

4.8 Aplicación de un modelo de balance demanda–capacidad para la redistribución de contenedores 53

4.8.1 Resultados del índice de riesgo de desborde *53*

4.8.2 Validación del modelo matemático *55*

4.8.3 Síntesis del modelo de balance demanda–capacidad *57*
4.9 Evidencia cualitativa: entrevista a actores del sistema 57
5. Conclusiones 60
5.1 Hallazgos empíricos 60
5.2 Interpretación del sistema de residuos 60
5.3 El modelo como instrumento de reducción del riesgo de desborde 61
6. Plan de acción 63
6.1 Situación de partida 63
6.2 Simulación de escenarios de intervención 63
6.2.1 Redistribución teórica manteniendo infraestructura existente *64*
6.2.2 Escenario de expansión de infraestructura *64*
6.2.3 Escenario de aumento de frecuencia de recolección *65*
6.2.4 Comparación económica y logística de alternativas *65*
6.3 Ejes de intervención 66
6.3.1 Eje 1 — Redistribución de infraestructura existente (corto plazo, 0–12 meses) *66*
6.3.2 Eje 2 — Expansión selectiva de infraestructura (mediano plazo, 12–36 meses) *66*
6.3.3 Eje 3 — Mejora del sistema de monitoreo y datos (transversal) *67*
6.3.4 Eje 4 — Líneas de desarrollo futuro (prospectivo, +24 meses) *68*
6.4 Cronograma de implementación 69
7 Referencias 70
8. Anexos 73
Anexo 1. Declaración de objeto del trabajo y uso de elementos de terceros 73
Anexo 2. Descripción de bases de datos 74
Anexo 2.1 Bases de datos principales *75*
Anexo 2.1.1 Contenedores Montevideo 75
Anexo 2.1.2 Circuitos de recolección 75
Anexo 2.1.3 Levantes de contenedores 75
Anexo 2.1.4 Reclamos (SUR) 76
Anexo 2.1.5 Población por municipio 76
Anexo 2.2 Bases de datos complementarias *76*
Anexo 2.2.1 Contenedores Lisboa 76
Anexo 2.2.2 Contenedores Valencia 76
Anexo 3. Scripts 77
Anexo 4. Transcripciones de entrevistas 78
Anexo 5. Supuestos del modelo logístico 78
Anexo 6. Elaboración de encuestas 80

1. Introducción

La gestión de los residuos sólidos urbanos representa uno de los desafíos más relevantes para las ciudades contemporáneas. El crecimiento sostenido de la población urbana y los cambios en los patrones de consumo han generado una presión creciente sobre los sistemas de recolección y almacenamiento de residuos, afectando tanto la eficiencia operativa de los servicios como la calidad de vida de los ciudadanos. En este contexto, la planificación de la infraestructura de almacenamiento, en particular la distribución territorial de contenedores domiciliarios, constituye un componente crítico para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema.

Dentro de la cadena logística inversa de los residuos sólidos urbanos, concepto desarrollado en el marco teórico, los contenedores representan el primer punto de contacto entre la población y el sistema formal de gestión. Su localización, cantidad y capacidad condicionan tanto el comportamiento de los usuarios como la operación posterior de la recolección. Una distribución inadecuada de esta infraestructura puede derivar en situaciones de saturación, acumulación de residuos en el espacio público y un deterioro progresivo en la percepción ciudadana del servicio.

El caso de Montevideo ofrece un escenario de análisis particularmente relevante. La ciudad cuenta con un sistema de contenedores domiciliarios distribuido en ocho municipios que presentan diferencias muy marcadas en términos de densidad poblacional y extensión territorial. Sin embargo, como se verá desarrollado en el análisis, la distribución actual de los contenedores parece no reflejar adecuadamente esas diferencias, lo que plantea la pregunta central de este trabajo: ¿en qué medida la organización territorial del sistema de contenedores de Montevideo responde a la demanda potencial del servicio?

Para abordar esta pregunta, el estudio utiliza datos abiertos institucionales publicados por la Intendencia de Montevideo, incluyendo información sobre la localización de contenedores, circuitos de recolección, registros operativos y reclamos ciudadanos, complementados con datos demográficos a nivel municipal. El análisis combina herramientas de análisis territorial, indicadores de desempeño del sistema, estudio de reclamos ciudadanos y un modelo de *balance demanda–capacidad* inspirado en la literatura del Waste Bins Location Problem. Asimismo, se incorpora una comparación internacional con los sistemas de contenedores de Lisboa y Valencia, con el objetivo de contextualizar los resultados obtenidos.

1.1 Objetivo general

Analizar la organización territorial del sistema de contenedores domiciliarios de Montevideo, evaluando en qué medida su distribución responde a la demanda potencial del servicio y explorando posibles alternativas de mejora basadas en criterios de *balance demanda-capacidad.*

Objetivos específicos

- Describir la distribución territorial de los contenedores domiciliarios en los municipios de Montevideo e identificar su relación con variables territoriales como la densidad poblacional y la superficie.
- Analizar el desempeño operativo del sistema a través de indicadores de contenedores críticos, frecuencia de levante y reclamos ciudadanos, evaluando la existencia de desigualdades territoriales en la calidad del servicio.
- Comparar la organización del sistema de Montevideo con los sistemas de contenedores de Lisboa y Valencia como casos de éxito en el tema, identificando diferencias estructurales en la distribución territorial de la infraestructura.
- Construir y aplicar un índice de riesgo de desborde que permita evaluar el equilibrio entre la demanda estimada de residuos y la capacidad instalada de contenedores en cada municipio.
- Simular escenarios alternativos de intervención, redistribución de contenedores, expansión de infraestructura y ajustes en la frecuencia de recolección, y comparar sus implicancias económicas y logísticas.

Esta investigación busca aportar evidencia empírica sobre los posibles desequilibrios territoriales en la distribución del sistema de contenedores de Montevideo. A través del desarrollo de un indicador de riesgo de desborde y la exploración de distintos escenarios de mejora, el trabajo ofrece una base analítica concreta para orientar decisiones de planificación urbana hacia criterios basados en la demanda territorial, contribuyendo así a una gestión de residuos más eficiente y equitativa para el conjunto de la ciudad.

2. Marco Teórico

La gestión de los residuos sólidos urbanos ha sido identificada como uno de los principales desafíos que enfrentan las ciudades contemporáneas. De acuerdo con el *United Nations Environment Programme* (UNEP), el aumento sostenido de la población urbana, junto con los cambios en los patrones de consumo, ha generado un crecimiento significativo en la cantidad de residuos producidos, configurando un problema de alcance global. En este sentido, el organismo señala que "la generación de residuos sólidos municipales está aumentando más rápido que la urbanización", lo que ejerce una presión creciente sobre los sistemas urbanos de gestión de residuos (UNEP, 2015).

Este carácter global del problema ha sido también destacado por el Banco Mundial, que identifica a la gestión de residuos sólidos como un componente crítico del desarrollo urbano sostenible. En su informe *What a Waste 2.0*, el organismo afirma que "la rápida urbanización, el crecimiento poblacional y el desarrollo económico están impulsando un aumento sin precedentes en la generación de residuos", advirtiendo que los sistemas urbanos existentes no siempre cuentan con la capacidad necesaria para responder de forma eficiente a esta demanda creciente (World Bank, 2018). Estas afirmaciones permiten sostener que la gestión de residuos sólidos urbanos constituye un desafío que afecta a ciudades de distintas regiones del mundo, con implicancias ambientales, sanitarias y administrativas.

2.1 La gestión de residuos urbanos como problema logístico

Desde el campo de estudio de la logística, Rossit y Nesmachnow (2022) proponen analizar la gestión de los residuos sólidos urbanos a partir del enfoque de la logística inversa. Según los autores, este enfoque concibe a los residuos como flujos materiales que, una vez generados, deben ser gestionados dentro de una cadena logística específica que permita su recolección, transporte, tratamiento y disposición final. En este marco, los autores destacan que la logística inversa se diferencia de las cadenas logísticas tradicionales porque opera sobre flujos de retorno caracterizados por una elevada incertidumbre en términos de cantidad, localización y temporalidad (Rossit & Nesmachnow, 2022).

Además, señalan que la cadena logística inversa de los residuos sólidos urbanos se compone de diversas etapas interrelacionadas. Entre ellas, identifican la generación del residuo, el almacenamiento temporal, la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final. Los autores subrayan que estas etapas no funcionan de manera independiente, sino que se encuentran estrechamente conectadas, de modo que las decisiones adoptadas en una etapa condicionan el desempeño del sistema en su conjunto.

Dentro de esta cadena, otorgan especial relevancia a la etapa de almacenamiento, entendida como el momento en el que los residuos son depositados temporalmente en

contenedores urbanos antes de su recolección. Señalan que estos contenedores constituyen el primer punto de contacto físico entre la población y el sistema formal de gestión de residuos, y su diseño y localización influyen directamente tanto en el comportamiento de disposición de los usuarios como en la operación posterior de la recolección.

En relación con esto, afirman que la infraestructura de almacenamiento no debe ser concebida como un elemento pasivo del sistema, sino como un componente estructural de la logística inversa. Los autores sostienen que la ubicación, capacidad y distribución espacial de los contenedores inciden de forma directa en la eficiencia operativa del sistema de gestión de residuos, ya que condicionan aspectos tales como la planificación de rutas, la frecuencia de recolección y la utilización de los recursos disponibles.

Esta afirmación se encuentra alineada con los planteos del Banco Mundial, que advierte que deficiencias en la infraestructura urbana de gestión de residuos pueden derivar en efectos negativos como desbordes, acumulación de residuos en el espacio público y aumento de los costos operativos. En este sentido, el organismo señala que "los sistemas inadecuados de recolección y almacenamiento de residuos tienen impactos directos sobre la salud pública, el ambiente y la percepción ciudadana de los servicios urbanos" (World Bank, 2018). Este deterioro en la percepción del entorno urbano guarda relación con el denominado *broken window effect*, según el cual el descuido visible del espacio público, como lo puede ser la acumulación de residuos, transmitiendo la sensación de que nadie se ocupa del problema, lo que tiende a profundizar el deterioro del entorno (Wilson & Kelling, 1982).

En este marco, el WBLP se presenta como una herramienta conceptual y metodológica que permite abordar de manera sistemática la problemática de la distribución de contenedores urbanos. Al incorporar nodos de demanda, restricciones de capacidad y criterios de localización, los modelos asociados ofrecen un marco teórico sólido para analizar, comparar y eventualmente rediseñar redes de almacenamiento, siempre en función de la demanda real que dichas redes deben atender (Rossit & Nesmachnow, 2022).

2.2 Factores institucionales y laborales en la operación del sistema

Sin embargo, el funcionamiento del sistema de gestión de residuos no depende exclusivamente de variables técnicas o logísticas. En el caso de Montevideo, factores institucionales y organizacionales introducen una dimensión adicional que condiciona la operación del servicio.

En particular, la negociación con el sindicato de funcionarios municipales (ADEOM) ha tenido incidencia directa en la planificación y operación del servicio. Diversos antecedentes evidencian que las instancias de negociación entre la Intendencia de Montevideo y el sindicato han tenido incidencia directa en el funcionamiento del sistema. En

particular, conflictos vinculados a condiciones laborales, disponibilidad de recursos y acuerdos salariales han repercutido en la frecuencia de recolección y en la capacidad operativa del servicio, generando en algunos casos retrasos en el vaciado de contenedores y acumulación de residuos (Montevideo Portal, 2024).

Asimismo, medidas sindicales como la suspensión de horas extra o paros de actividades han afectado directamente la operativa del sistema, evidenciando la dependencia del servicio respecto a la organización del trabajo y las condiciones laborales de los funcionarios (CEMPRE, s.f.). A su vez, los procesos de negociación han influido en decisiones estructurales del sistema, como la posibilidad de tercerizar servicios o modificar la organización de la recolección (Teledoce, 2022).

En este sentido, la capacidad de adaptación del sistema no responde exclusivamente a criterios de eficiencia técnica, sino que también se encuentra mediada por dinámicas de negociación entre los distintos actores involucrados. Por lo tanto, el análisis del sistema de contenedores requiere considerar no sólo la relación entre demanda, infraestructura y territorio, sino también los factores institucionales que condicionan su funcionamiento.

A partir de lo anterior, la literatura ha desarrollado un marco específico para abordar el problema de dónde y cómo distribuir los contenedores en una ciudad, conocido como el Waste Bins Location Problem, que se desarrolla a continuación.

2.3 El Waste Bins Location Problem: localización y distribución de contenedores

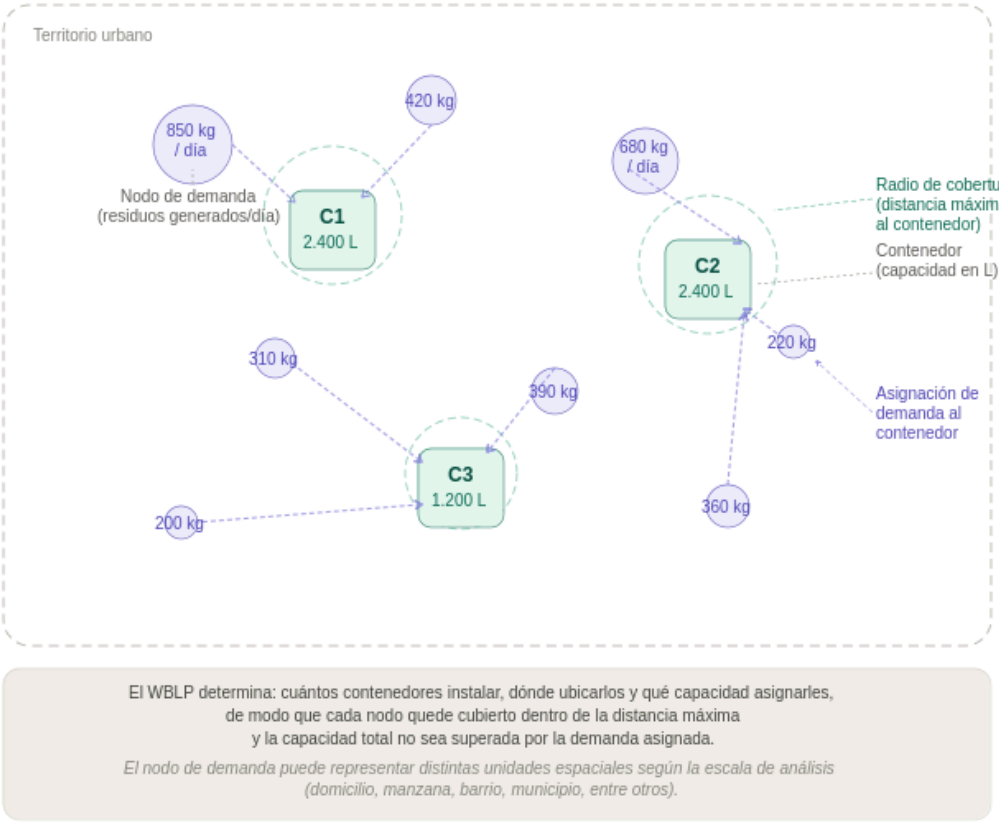
A partir de la conceptualización de la etapa de almacenamiento como un componente estructural de la logística inversa, la literatura especializada ha abordado la distribución de contenedores urbanos como un problema específico de diseño y planificación. Rossit y Nesmachnow (2022) señalan que la decisión sobre la ubicación, cantidad y capacidad de los contenedores constituye un problema de localización que requiere ser analizado de forma sistemática. Esta problemática ha sido formalizada en la literatura bajo la denominación de *Waste Bins Location Problem* (WBLP), el cual se inscribe dentro del conjunto de problemas de localización aplicados a la gestión de residuos sólidos urbanos.

Rossit y Nesmachnow (2022) definen el WBLP como el problema de determinar "la ubicación óptima de contenedores urbanos considerando la distribución espacial de la demanda, las capacidades disponibles y las restricciones operativas del sistema". Esta definición implica reconocer que la red de contenedores no puede ser diseñada de manera arbitraria o uniforme, sino que debe responder a criterios que permitan equilibrar accesibilidad para los usuarios, eficiencia operativa y costos del sistema. En este marco, los autores destacan que el WBLP se caracteriza por su naturaleza multicriterio, dado que

involucra simultáneamente objetivos asociados a cobertura territorial, minimización de distancias, utilización eficiente de recursos y calidad del servicio urbano.

Un aspecto central del WBLP es la noción de nodos de demanda. Los autores explican que los nodos de demanda representan puntos o áreas donde se genera una determinada cantidad de residuos y que, por lo tanto, requieren ser atendidos por la red de contenedores. En palabras de los autores, los modelos de localización buscan "asignar la demanda generada en los nodos a los contenedores disponibles, respetando restricciones de capacidad y distancia" (Rossit & Nesmachnow, 2022).

Figura 1. *Representación conceptual del Waste Bins Location Problem (WBLP).*



Fuente: Elaboración propia basada en Rossit y Nesmachnow (2022).

Rossit y Nesmachnow (2022) señalan que, la demanda asociada a estos nodos puede ser representada a partir de distintas variables, entre las cuales la población ocupa un lugar destacado. Ambos autores señalan que numerosos modelos utilizan la población como un proxy de la generación de residuos, dado que existe una relación directa entre la cantidad de habitantes y el volumen potencial de desechos producidos. En este sentido, explican que "la demanda suele modelarse a partir de la población o de estimaciones de generación de residuos derivadas de ella", lo que permite incorporar la presión real sobre el sistema de almacenamiento dentro de los modelos matemáticos de localización.

A partir de este enfoque, la literatura distingue entre diferentes lógicas de distribución de contenedores. Rossit y Nesmachnow (2022) describen configuraciones de red que no se basan explícitamente en nodos de demanda, sino que responden a criterios administrativos, normativos o espaciales homogéneos, en los cuales la distribución de contenedores tiende a presentar una baja variabilidad territorial, independientemente de la distribución real de la población o de la presión ejercida sobre el sistema. Frente a esto, el Banco Mundial advierte que "la falta de alineación entre la infraestructura de gestión de residuos y la demanda real constituye una de las principales causas de ineficiencia en los sistemas urbanos" (World Bank, 2018), mientras que el UNEP señala que una planificación basada en criterios homogéneos tiende a generar problemas recurrentes de saturación, desbordes y sobrecarga operativa (UNEP, 2015).

A partir de esta distinción entre lógicas de distribución homogéneas y basadas en demanda, la literatura ha desarrollado modelos matemáticos que permiten trasladar estos principios a herramientas concretas de planificación. Estos modelos se presentan en el apartado siguiente.

2.4 Modelos matemáticos aplicados al Waste Bins Location Problem

Estos modelos traducen los principios del WBLP en ecuaciones que permiten calcular la distribución óptima de contenedores en función de la demanda, la capacidad disponible y las condiciones operativas del sistema.

Rossit y Nesmachnow (2022) señalan que estos modelos constituyen una herramienta central para traducir los principios teóricos de la logística inversa en decisiones concretas de diseño de la red de almacenamiento. Entre ellos, Barrena et al. (2019) desarrollan un modelo matemático para la localización de contenedores de residuos sólidos urbanos que incorpora explícitamente los nodos de demanda y las ubicaciones candidatas, utilizando la población como variable asociada a la generación de residuos. El modelo incluye restricciones de capacidad de los contenedores, límites máximos de distancia entre los puntos de generación y los puntos de depósito, así como costos asociados a la instalación (Barrena et al., 2019).

Estos modelos pueden incorporar además variables vinculadas a la operación de la recolección, en particular la organización en circuitos. Los circuitos de recolección representan las rutas operativas mediante las cuales los camiones recolectores realizan el vaciado de los contenedores, agrupando un conjunto determinado de puntos de almacenamiento dentro de un recorrido específico. Rossit y Nesmachnow (2022) destacan que las decisiones adoptadas en la etapa de almacenamiento, ubicación, capacidad y distribución de los contenedores, influyen directamente sobre la eficiencia de estos circuitos, ya que condicionan variables fundamentales como el tiempo de recorrido, la frecuencia de levante y la capacidad operativa para responder ante situaciones de saturación.

Desde una perspectiva académica, el uso de modelos matemáticos para abordar el WBLP permite analizar escenarios alternativos y comparar distintas configuraciones de la red de contenedores bajo criterios homogéneos. Los autores subrayan que este tipo de modelos resulta especialmente pertinente en investigaciones que buscan evaluar la adecuación entre infraestructura y demanda, ya que posibilitan identificar desajustes estructurales y proponer redistribuciones fundamentadas en criterios cuantificables. En este sentido, los modelos matemáticos no constituyen un fin en sí mismo, sino una herramienta analítica que permite operacionalizar los conceptos desarrollados en el marco teórico, transformando un problema complejo en un problema analizable, replicable y comparable entre distintos contextos territoriales.

3. Marco Metodológico

3.1 Estrategia metodológica: triangulación de fuentes

El diseño metodológico de la presente investigación se estructura a partir de una estrategia de triangulación de fuentes, con el objetivo de analizar la organización territorial del sistema de contenedores desde múltiples perspectivas complementarias.

La triangulación permite integrar distintos tipos de evidencia, cuantitativa, comparativa y cualitativa, con el fin de fortalecer la validez del análisis y evitar interpretaciones basadas en una única fuente de información. Este enfoque resulta especialmente pertinente para el estudio de sistemas complejos, como la gestión de residuos, donde intervienen múltiples dimensiones operativas, territoriales y sociales.

En este estudio, la triangulación se compone de tres dimensiones principales. En primer lugar, se desarrolla un análisis cuantitativo basado en datos georreferenciados provenientes de fuentes de datos abiertos, que permite examinar la distribución territorial de la infraestructura de contenedores y su relación con variables demográficas. En segundo lugar, se incorpora una comparación internacional con las ciudades de Lisboa y Valencia, utilizada como referencia para contextualizar el caso de Montevideo en relación con otras configuraciones territoriales del sistema. Finalmente, se incluye evidencia cualitativa obtenida mediante entrevistas a actores vinculados a la operación del sistema, con el objetivo de complementar y contextualizar los resultados del análisis cuantitativo.

Complementariamente, se incorpora una descripción de la estructura organizacional de la Intendencia de Montevideo, con el objetivo de contextualizar la dimensión institucional que condiciona el funcionamiento del sistema.

El análisis cuantitativo constituye el eje central de la investigación y se basa en el procesamiento de bases de datos georreferenciadas que contienen información sobre la localización de contenedores, circuitos de recolección, registros operativos y reclamos ciudadanos. A partir de estos datos, se construyen indicadores territoriales comparables y se desarrollan visualizaciones espaciales que permiten identificar patrones en la distribución de la infraestructura y su relación con la demanda potencial del servicio. Estos indicadores fueron organizados en tablas comparativas, lo que permite sistematizar la información y facilitar su análisis.

La comparación internacional se incorpora como una herramienta metodológica orientada a enriquecer la interpretación del caso de estudio. Las ciudades de Lisboa y Valencia fueron seleccionadas debido a la disponibilidad de datos abiertos comparables y a su desempeño destacado en indicadores de gestión urbana, lo que permite utilizarlas como casos de referencia para analizar distintas formas de organización territorial del sistema de contenedores.

Por su parte, la dimensión cualitativa se integra a través de entrevistas semiestructuradas a actores vinculados a la operación del sistema de recolección de residuos. Estas entrevistas permiten relevar criterios operativos, prácticas de gestión y supuestos utilizados en la planificación del sistema, aportando una perspectiva complementaria al análisis de datos.

3.1.1 Dimensión institucional: estructura organizacional de la Intendencia de Montevideo

La Intendencia de Montevideo cuenta con aproximadamente entre 8.000 y 8.600 funcionarios directos. Dentro de esta estructura, el área de limpieza y recolección de residuos constituye un componente operativo relevante.

Distintos antecedentes indican que el servicio de recolección involucra del orden de entre 700 y 750 trabajadores directamente vinculados a estas tareas, lo que permite dimensionar el peso relativo del sector dentro de la estructura de la Intendencia (Montevideo Portal, s.f.).

Asimismo, en distintos planes de refuerzo del servicio se ha incorporado personal adicional en tareas de limpieza urbana, alcanzando cifras de más de 700 trabajadores en determinados programas operativos (Ámbito, 2024).

Si bien no se dispone de una desagregación oficial completa del total de funcionarios por área, estos valores permiten aproximar la magnitud del sector de limpieza dentro del conjunto de la Intendencia. Esta aproximación resulta relevante en el marco de la estrategia de triangulación adoptada, ya que permite dimensionar el peso operativo del área de recolección y contextualizar la incidencia que los factores institucionales, como las dinámicas de negociación sindical, pueden tener sobre el funcionamiento del sistema analizado.

3.2 Análisis cuantitativo: bases de datos y construcción de indicadores

La presente investigación se basa en el análisis descriptivo en bases de datos georreferenciadas vinculadas al sistema de gestión de residuos en las tres ciudades estudaidas: Montevideo, Lisboa y Valencia. Como se mencionó anteriormente, el enfoque cuantitativo constituye el eje central del estudio, permitiendo analizar la distribución territorial de la infraestructura de contenedores y su relación con la demanda potencial del servicio.

El caso de Montevideo constituye el objeto central de análisis, para lo cual se utilizaron diversas bases de datos publicadas por la Intendencia de Montevideo a través de sus portales de datos abiertos. Estas fuentes permiten trabajar con información sobre el funcionamiento del sistema, tanto desde una perspectiva territorial como operativa.

Entre las principales fuentes utilizadas se encuentra la base de datos de contenedores domiciliarios, que contiene información sobre la localización geográfica de los contenedores instalados en la vía pública. Esta base incluye un identificador único (GID)

que permite distinguir cada contenedor individual, así como información sobre el circuito de recolección asociado (COD_CIRCUITO) y sus coordenadas geográficas (latitud y longitud), lo que posibilita su representación espacial y análisis territorial.

Asimismo, se incorporaron datos vinculados a los circuitos de recolección, los cuales representan las rutas utilizadas por los camiones recolectores para el vaciado de los contenedores. Estos circuitos constituyen una unidad operativa relevante para comprender la organización del sistema de recolección y su funcionamiento en el territorio.

Desde la perspectiva de los usuarios, se utilizó la base de datos de reclamos del Sistema Único de Respuesta (SUR) de la Intendencia de Montevideo, que centraliza los reclamos ciudadanos vinculados a distintos servicios municipales. A partir de esta base se realizó un proceso de filtrado utilizando la variable DESC_TIPOPROBLEMA, seleccionando únicamente aquellos registros correspondientes a la categoría “Contenedor roto”, con el objetivo de aislar los reclamos específicamente asociados al estado de los contenedores.

Adicionalmente, se incorporaron bases de datos operativas vinculadas al funcionamiento del sistema de recolección, incluyendo registros de levantes de contenedores y recorridos realizados. Estas bases contienen información sobre fechas de operación, recorridos y coordenadas geográficas, lo que permite integrar la dimensión operativa del sistema al análisis.

A partir de estos registros operativos, se definió el criterio utilizado para identificar situaciones de mal funcionamiento del sistema. En particular, se considera contenedor crítico aquel que permanece más de tres días sin ser levantado, tomando como referencia la frecuencia de recolección prevista por el propio sistema. Este umbral permite distinguir situaciones en las que el servicio presenta demoras relevantes respecto a lo operativamente esperado.

Finalmente, se construyó una base de datos demográfica a partir de información censal sobre población en Montevideo, elaborada por los autores. En particular, se recopiló información sobre la cantidad de habitantes por municipio, la cual fue organizada en una estructura compatible con los demás conjuntos de datos utilizados.

El conjunto de estas fuentes de datos constituye el insumo necesario para construir los indicadores territoriales y aplicar el modelo de *balance demanda-capacidad* inspirado en los principios del Waste Bins Location Problem desarrollados en el Marco Teórico.

3.2.1 Preparación y limpieza de los datos

Previo al procesamiento y análisis, se realizó un proceso exhaustivo de limpieza y estandarización de todas las bases de datos utilizadas en la investigación. Este proceso tiene un impacto crucial en la precisión de los análisis, por lo que se procedió a verificar la consistencia y formato de las variables clave, especialmente las coordenadas geográficas (latitud y longitud) que permiten la asignación territorial de los contenedores. La limpieza de

datos se llevó a cabo con el fin de garantizar que no hubiera valores faltantes o datos inconsistentes que pudieran influir en los resultados finales de manera negativa.

Para obtener un conjunto de datos de alta calidad, se eliminaron los registros incompletos y se reemplazaron aquellos con errores evidentes en las coordenadas geográficas. De esta manera, se generaron *datasets* homogéneos que permitieron la comparabilidad entre las tres ciudades. En particular, el proceso de limpieza también permitió eliminar registros de contenedores cuya información sobre el tipo o la ubicación era irreconocible, representando una proporción reducida del total de observaciones disponibles, por lo que su impacto sobre los resultados del análisis se considera mínimo.

La elección del municipio como unidad territorial de análisis responde a la necesidad de trabajar con una escala espacial común entre los distintos *datasets*. Si bien algunas fuentes incluyen coordenadas geográficas, estas no siempre permiten identificar de manera directa unidades territoriales homogéneas. Por esta razón, se optó por utilizar el municipio como unidad de referencia, lo que permitió integrar la información demográfica con los datos georreferenciados de contenedores, reclamos y variables operativas.

Cabe señalar que el análisis se circunscribe a los municipios de Montevideo que cuentan con sistema de contenedores domiciliarios en la vía pública. La zona rural de Montevideo, si bien cuenta con servicio de recolección de residuos, opera bajo una modalidad distinta que no incluye contenedores, por lo que no forma parte del presente análisis debido a la ausencia de datos comparables.

A partir de las coordenadas geográficas disponibles, se realizó un proceso de asignación territorial que permitió vincular cada observación al municipio correspondiente. Esto posibilitó la construcción de indicadores comparables entre distintas zonas de la ciudad, tales como la cantidad de contenedores por municipio, contenedores por habitante y contenedores por kilómetro cuadrado. Estos indicadores fueron sistematizados en tablas comparativas, facilitando la organización de la información y su posterior análisis.

Asimismo, se desarrollaron visualizaciones espaciales mediante la construcción de mapas a partir de los datos georreferenciados, lo que permitió representar la distribución territorial de los contenedores y los circuitos de recolección.

Se realizaron análisis estadísticos orientados a evaluar la relación entre la infraestructura de contenedores y variables territoriales. En particular, se calcularon coeficientes de correlación entre la cantidad de contenedores y variables como la población, la densidad poblacional y la superficie de los municipios, cuyos resultados serán desarrollados en el apartado de análisis.

3.3 Comparación internacional

Las ciudades de Lisboa y Valencia fueron seleccionadas como casos de referencia por tres razones complementarias. En primer lugar, ambas cuentan con bases de datos

abiertos y accesibles públicamente sobre su sistema de contenedores, lo que permite construir indicadores comparables con los utilizados para Montevideo. En segundo lugar, Lisboa fue reconocida como Capital Verde Europea 2020 por la Comisión Europea, distinción que incluye entre sus criterios la gestión de residuos urbanos. En tercer lugar, Valencia ha sido desarrollada como una ciudad inteligente con políticas orientadas a la gestión eficiente de servicios urbanos, incluyendo la recolección de residuos, lo que la posiciona como un caso relevante para la comparación en términos de organización y desempeño del sistema.

3.3.1 Datos de contenedores Lisboa

En el caso de Lisboa, se utilizó una base de datos con múltiples variables relacionadas con la organización del sistema de contenedores, entre las que se encuentran identificadores de contenedor, códigos de circuito, información sobre los puntos de recolección y coordenadas geográficas de localización. En particular, el *dataset* contiene variables que identifican el circuito de recolección asociado a cada contenedor, la capacidad de almacenamiento del contenedor, la cantidad de unidades instaladas en cada punto de recolección y las coordenadas geográficas del contenedor.

La disponibilidad de coordenadas geográficas permite analizar la distribución espacial de los contenedores dentro del territorio urbano de Lisboa, mientras que la información sobre circuitos de recolección permite estudiar la organización operativa del sistema de recolección.

El *dataset* original incluye distintos tipos de contenedores asociados a diferentes fracciones de residuos. Para asegurar la comparabilidad con el sistema de contenedores domiciliarios de Montevideo, el análisis se centró exclusivamente en los contenedores correspondientes al tipo de residuo denominado lixo.

La combinación de información sobre localización geográfica, capacidad de almacenamiento y circuitos de recolección permite construir indicadores comparables entre ciudades y analizar distintos aspectos de la organización territorial del sistema de contenedores.

3.3.2 Datos de contenedores Valencia

La investigación también incorporó una base de datos correspondiente a la ciudad de Valencia que contiene información sobre la localización de contenedores dentro del sistema urbano de recolección de residuos.

Este *dataset* incluye variables relacionadas con la ubicación de los contenedores, el tipo de contenedor instalado, el modelo de contenedor y la localización territorial del punto de recolección. En particular, la base contiene información sobre el distrito y el barrio en el que se encuentra cada contenedor, así como coordenadas geográficas que permiten identificar su ubicación dentro del territorio urbano.

A diferencia del caso de Lisboa, la base de datos de Valencia no incluye información sobre circuitos operativos de recolección. Sin embargo, la presencia de variables territoriales como distrito y barrio permite analizar la distribución espacial de los contenedores y evaluar el grado de concentración o dispersión de la infraestructura dentro de distintas zonas de la ciudad.

La información contenida en este *dataset* permite calcular indicadores territoriales comparables con los utilizados para Montevideo y Lisboa, tales como la cantidad de contenedores por zona urbana, la distribución territorial de la infraestructura y los patrones espaciales de concentración de contenedores.

3.3.3 Procesamiento e integración de los datos para el análisis comparativo

Una vez recopiladas y limpiadas las bases de datos correspondientes a las distintas ciudades analizadas, se procedió al procesamiento y preparación de los datos con el objetivo de construir indicadores comparables que permitieran analizar la organización territorial del sistema de contenedores.

A partir de las coordenadas geográficas disponibles en cada *dataset* se procedió a la georreferenciación de los contenedores y a su posterior asignación territorial. Para ello se utilizaron los límites administrativos de los municipios de Montevideo, lo que permitió vincular cada contenedor con la unidad territorial correspondiente. Este procedimiento se realizó mediante la asignación espacial de cada punto geográfico a los polígonos que representan los municipios, permitiendo determinar la cantidad de contenedores presentes en cada uno de ellos.

Una vez realizada la asignación territorial de los contenedores, se procedió al cálculo de indicadores que permitieran analizar la relación entre la distribución de la infraestructura de almacenamiento y las características territoriales de cada municipio. En este sentido, se estimó la cantidad de contenedores presentes en cada municipio y se la comparó con distintas variables territoriales, entre ellas el área del municipio y la densidad poblacional.

El objetivo de este análisis fue evaluar qué tipo de relación existía entre la distribución de los contenedores y las características del territorio urbano. En particular, se buscó determinar si la infraestructura de almacenamiento respondía principalmente a la extensión territorial de los municipios o si, por el contrario, se encontraba asociada a la distribución de la población. Para ello se calcularon coeficientes de correlación entre la cantidad de contenedores por municipio y dos variables territoriales: el área del municipio y la densidad poblacional.

Asimismo, con el objetivo de analizar la distribución territorial de la infraestructura de almacenamiento, se desarrollaron visualizaciones espaciales a partir de las coordenadas geográficas presentes en las bases de datos. En particular, se utilizaron las variables de

latitud y longitud para representar espacialmente la ubicación de los contenedores dentro del territorio urbano.

Se generaron mapas interactivos en formato HTML para visualizar la distribución espacial de los contenedores y los recorridos asociados a circuitos de recolección, ya que este formato facilita su visualización y compartición a través de plataformas web.

3.3.4 Comparación entre ciudades

El análisis comparativo se fundamentó en la utilización de una serie de indicadores territoriales que permiten describir cómo se distribuyen los contenedores en relación con las características de la población y la extensión territorial de cada ciudad. Estos indicadores, como la cantidad de contenedores por habitante y por kilómetro cuadrado, constituyen métricas para analizar la organización de la infraestructura de almacenamiento de residuos en función de sus características demográficas y territoriales.

Para comenzar la comparación, primero se utilizaron los datos básicos sobre la población y el tamaño territorial de cada ciudad, con el fin de calcular los contenedores por habitante y los contenedores por km².

El siguiente paso del análisis consistió en evaluar la homogeneidad o heterogeneidad de la distribución de los contenedores en las tres ciudades. Para esto, se calculó el coeficiente de variación (CV) de la distribución de los contenedores, lo que permitió observar qué tan uniforme o dispersa es la distribución de los mismos dentro de cada ciudad. Además, se utilizaron mapas de calor interactivos para representar visualmente la distribución de los contenedores en cada ciudad. Estos mapas proporcionaron una representación clara de cómo se distribuyen los contenedores en función de su ubicación geográfica.

Otro aspecto importante de la comparación entre las ciudades fue la correlación entre la cantidad de contenedores y las características demográficas y territoriales de cada zona. Para ello, se realizaron análisis estadísticos, como el cálculo de los coeficientes de correlación entre la cantidad de contenedores y la población en cada unidad territorial.

3.4 Evidencia cualitativa: entrevistas

La dimensión cualitativa se incorpora en la investigación como parte de la estrategia de triangulación de fuentes, con el objetivo de complementar el análisis cuantitativo y aportar una perspectiva operativa e institucional sobre el funcionamiento del sistema de recolección de residuos.

Para ello, se realizaron dos entrevistas semiestructuradas a actores clave vinculados al sistema de gestión de residuos. En particular, se entrevistó a Gabriel Mannise, gerente de la empresa Ecotecno, organización que opera servicios de recolección y tratamiento de residuos en distintos departamentos del Uruguay, y a Fernando Nopitsch, exdirector de Limpieza de la Intendencia de Montevideo, con experiencia directa en la gestión del sistema

a nivel local. Las entrevistas fueron realizadas de forma individual por los autores del trabajo.

El diseño de las entrevistas se basó en una guía de preguntas previamente definida, la cual fue utilizada de manera flexible en función del desarrollo de cada conversación. Este enfoque permitió mantener una estructura común entre las entrevistas, al tiempo que habilitó la profundización en los temas abordados durante cada instancia.

Las entrevistas fueron registradas mediante grabación y posteriormente transcritas, lo que permitió un tratamiento detallado de la información. Asimismo, luego de cada instancia se sistematizaron los principales contenidos relevados, con el objetivo de organizar la información obtenida.

La información recopilada se utilizó como insumo cualitativo para relevar criterios operativos, supuestos de planificación y prácticas de gestión vinculadas al sistema de recolección. En este sentido, las entrevistas permitieron acceder a conocimiento experto no disponible en las bases de datos, así como validar y contextualizar distintos aspectos del análisis cuantitativo.

Es importante destacar que la evidencia cualitativa no se utiliza como fuente principal para la construcción de los indicadores, sino como un elemento de contextualización y validación que permite comprender los supuestos operativos del sistema en relación con los datos analizados.

De esta manera, la incorporación de entrevistas contribuye a enriquecer el enfoque metodológico mediante la integración de dos perspectivas complementarias, operativa e institucional, fortaleciendo la consistencia del análisis.

A partir de la integración de las distintas fuentes de información consideradas en la estrategia de triangulación, datos cuantitativos, comparación internacional y evidencia cualitativa, se incorporan herramientas analíticas que permiten operacionalizar la relación entre la infraestructura de contenedores y la demanda de residuos.

En este marco, se introduce el uso de un modelo matemático como instrumento metodológico orientado a evaluar el equilibrio entre estas variables dentro del sistema analizado.

3.5 Modelo matemático

El modelo matemático utilizado en esta investigación se basa en enfoques desarrollados en la literatura sobre localización de infraestructura de residuos, en particular aquellos vinculados al Waste Bins Location Problem (WBLP).

En este estudio, este enfoque no se aplica en su formulación original de optimización, sino que se utiliza como base conceptual para construir un modelo analítico adaptado al caso de Montevideo.

En este marco, el modelo se centra en la relación entre la demanda de residuos, la capacidad de almacenamiento disponible y la frecuencia de recolección, con el objetivo de aproximar el nivel de presión que enfrenta la infraestructura de contenedores en cada municipio.

3.5.1 Construcción del índice de riesgo de desborde

El primer paso para aplicar el modelo de redistribución de contenedores consiste en calcular el índice de riesgo de desborde. Este índice es fundamental porque permite medir, de manera cuantitativa, el grado de saturación de los contenedores en cada municipio en relación con la cantidad de residuos generados. Al tener este valor, es posible identificar en qué zonas del sistema es más probable que se presenten situaciones de desborde debido a una infraestructura insuficiente.

3.5.1.1 Definición del índice

El índice de riesgo de desborde (Ri) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_i = \frac{Q_i}{C_i}$$

Donde Ri es el índice de riesgo de desborde para el municipio i, Qi es la cantidad estimada de residuos generados en el municipio i, calculada a partir de la población y la generación promedio de residuos por habitante, y Ci es la capacidad de contenedores disponibles en el municipio i, calculada como el número total de contenedores multiplicado por la capacidad media de cada uno (es decir, el volumen total de los contenedores disponibles en el municipio).

Este índice mide la relación entre la demanda del servicio (los residuos generados) y la capacidad del sistema para satisfacer esa demanda (la capacidad de los contenedores). Un valor de Ri>1 indica que la capacidad de contenedores es insuficiente para cubrir la demanda de residuos, lo que genera un mayor riesgo de desbordes y acumulación de residuos.

3.5.1.2 Cálculo de la demanda

Para calcular Qi, se utiliza la siguiente aproximación:

$$Q_i = P_i \times R_p$$

Donde Pi es la población del municipio i, Rp es el valor promedio de residuos generados por persona (en kg/habitante/día).

En este caso, se utilizó una estimación de residuos generados por habitante diaria basada en el dato aportado por Gabriel Mannise[1] durante la entrevista realizada en el marco de esta investigación, quien señaló que por cada habitante de una ciudad se genera un kilo de basura por día. Esto permite obtener una estimación de la cantidad total de residuos generados en cada municipio y, por ende, calcular el índice de riesgo de desborde.

3.5.1.3 Cálculo de la capacidad

Para calcular Ci, se considera la siguiente fórmula:

$$C_i = \sum_{j=1}^{n} V_j$$

Donde: Ci es la capacidad total de contenedores para el municipio i, Vj es el volumen de cada contenedor j disponible en el municipio i, y n es el número total de contenedores en el municipio i.

El volumen de cada contenedor depende de su tipo y de su capacidad de almacenamiento, lo cual varía según la configuración de los contenedores en cada municipio.

3.5.1.4 Establecimiento de umbrales de riesgo

Una vez calculado el índice de riesgo de desborde para cada municipio, se establecen umbrales de riesgo de desborde. Por ejemplo:

Si Ri≥1, se considera que el municipio está constantemente desbordado y se prioriza en la redistribución.

Si Ri es menor que 1, el municipio no presenta un riesgo inmediato de desborde, pero sigue siendo relevante para el análisis en función de su capacidad operativa y los patrones de recolección.

En esta investigación, el objetivo es reducir este índice, especialmente en los municipios donde se identificaron mayores dificultades operativas, como se mencionó en los apartados anteriores sobre contenedores críticos y reclamos ciudadanos.

A partir de la construcción del índice de riesgo de desborde, el modelo permite identificar situaciones en las que la capacidad del sistema resulta insuficiente en relación con la demanda estimada. Este enfoque constituye una herramienta analítica que permite evaluar el grado de saturación de la infraestructura y explorar distintos escenarios de redistribución de contenedores y ajuste operativo.

---

[1] de Arruabarrena y Ghizzo (28 de Febrero 2026). Entrevista realizada a Gabriel Mannise [Inédita]. Véase Anexo Entrevista Gabriel Mannise

De esta manera, el modelo matemático permite identificar en qué municipios la capacidad del sistema resulta insuficiente frente a la demanda estimada y estimar la magnitud de los ajustes necesarios. Estos resultados constituyen la base analítica sobre la que se construyen las propuestas de intervención desarrolladas en el Plan de Acción.

3.6 Consideraciones metodológicas

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación estuvo sujeto a varias limitaciones inherentes a la disponibilidad de los datos y a las decisiones tomadas en cuanto a cómo trabajar con los mismos. A pesar de que se utilizaron bases de datos abiertas y accesibles públicamente, la completitud y la granularidad de los datos variaron según la ciudad, lo que afectó la precisión de las comparaciones entre ellas.

En el caso de Montevideo, la información disponible a nivel municipal permitió realizar un análisis detallado y consistente, ya que los datos estaban bien estructurados y desagregados. Sin embargo, en Lisboa y Valencia, los datos de localización de los contenedores estaban disponibles únicamente a nivel de distrito o barrio, lo que dificultó una comparación más precisa en la misma escala territorial.

Otro aspecto clave de la metodología fue el uso de supuestos simplificadores para estimar la demanda de residuos, ya que no se contaba con datos directos sobre la generación de residuos a nivel territorial. En lugar de ello, se utilizó la población residente como un proxy razonable, aunque este indicador no refleja completamente la variabilidad en la generación de residuos entre diferentes zonas urbanas. Factores como el tipo de vivienda, el nivel socioeconómico o la actividad comercial de una zona pueden influir en la cantidad de residuos generados, pero estos aspectos no fueron contemplados debido a la limitación de los datos.

La georreferenciación de los contenedores también implicó ciertas decisiones metodológicas. Para Montevideo, se eligió el municipio como unidad territorial de análisis, ya que los datos sobre la población estaban disponibles a este nivel, lo que permitió integrar de manera coherente la información demográfica con las coordenadas geográficas de los contenedores. Por otro lado, en Lisboa y Valencia, donde los datos estaban disponibles a nivel de barrio o distrito, se optó por trabajar con esta unidad territorial para poder realizar una comparación válida, aunque la resolución espacial de los datos no fuera completamente equivalente.

En cuanto a los supuestos del análisis, se asumió que la demanda de residuos no presentaba grandes variaciones estacionales o a lo largo del tiempo, lo que podría haber influido en la precisión de las estimaciones. Además, se supuso que la capacidad de los contenedores se mantenía constante, a pesar de posibles variaciones en su uso o configuración operativa.

Una limitación adicional refiere a la imposibilidad de separar, dentro de los indicadores operativos utilizados, las demoras atribuibles a deficiencias estructurales de infraestructura de aquellas generadas por interrupciones del servicio de origen laboral. Como se desarrolla en la sección 4.3, los conflictos sindicales con ADEOM han tenido incidencia directa y recurrente sobre la frecuencia de recolección. Sin embargo, los datos disponibles no permiten identificar qué municipios o circuitos fueron más afectados por cada episodio de conflicto, por lo que los indicadores de contenedores críticos y días sin levantar deben interpretarse como reflejo combinado de ambas fuentes de variación.

Estas limitaciones deben ser consideradas al interpretar los resultados del estudio, ya que responden a las restricciones propias de los datos disponibles y a las decisiones metodológicas adoptadas. En este sentido, futuras investigaciones podrían incorporar variables adicionales vinculadas a la generación de residuos, así como trabajar con unidades territoriales más desagregadas, con el objetivo de mejorar la precisión del análisis.

3.7 Uso de Inteligencia Artificial Generativa

En el proceso de elaboración de este trabajo se utilizaron dos herramientas de Inteligencia Artificial Generativa. ChatGPT (OpenAI, versión Plus) fue utilizado para la búsqueda y exploración de fuentes de datos relevantes, la corrección de redacción sobre textos previamente elaborados por los autores y la verificación del formato de citas bibliográficas. Claude (Anthropic, versión Pro) también fue utilizado para la corrección de redacción sobre textos previamente elaborados por los autores y para la generación de las figuras incluidas en el cuerpo del trabajo; en todos los casos, los resultados fueron revisados y validados por los autores para asegurar la correcta representación de los datos. Adicionalmente, ambas herramientas fueron empleadas en una instancia final de revisión del documento completo, con el objetivo de identificar posibles inconsistencias no detectadas durante las relecturas. En todos los casos, los argumentos, análisis e ideas que sostienen este trabajo son de autoría propia.

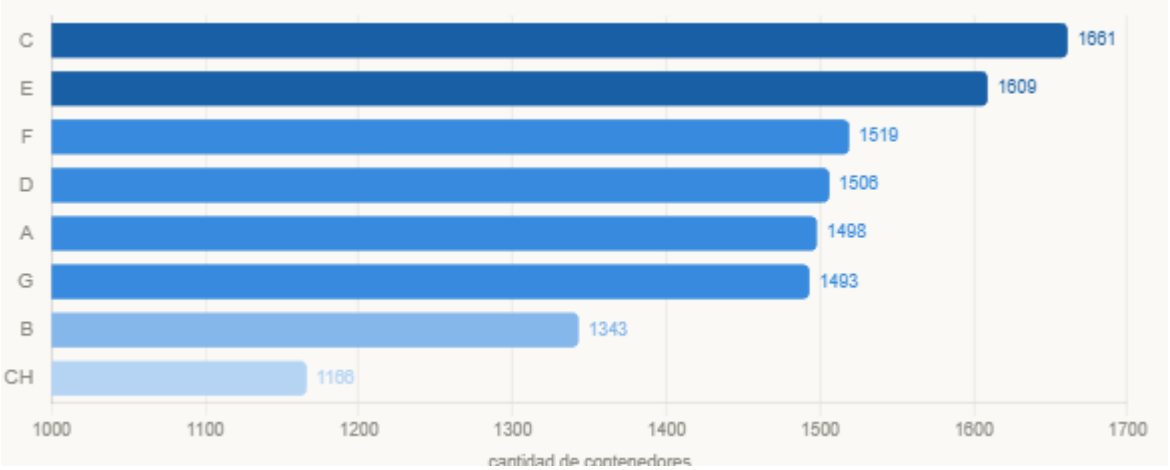
4. Análisis

4.1 Distribución territorial de la infraestructura en Montevideo

El análisis del sistema de contenedores domiciliarios de Montevideo comienza con una descripción de la distribución territorial de la infraestructura de almacenamiento de residuos dentro de la ciudad. Tal como se ha señalado en el marco teórico, la etapa de almacenamiento constituye un componente estructural dentro de la cadena logística inversa de los residuos sólidos urbanos, ya que condiciona de forma directa tanto el comportamiento de los usuarios como el funcionamiento posterior de la recolección. En este sentido, comprender cómo se distribuyen territorialmente los contenedores resulta fundamental para evaluar la adecuación del sistema a las características del territorio urbano.

La Figura 2 presenta la cantidad total de contenedores domiciliarios identificados en cada municipio de Montevideo a partir de la base de datos de contenedores utilizada en el estudio.

Figura 2. *Cantidad de contenedores domiciliarios por municipio*

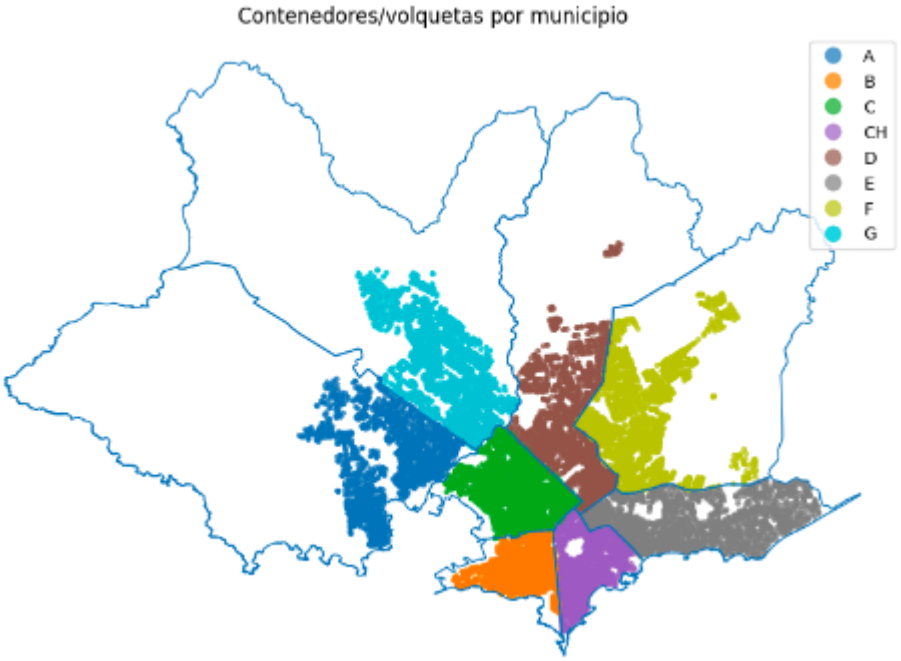


Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Si bien esta figura permite observar la distribución absoluta de la infraestructura entre los distintos municipios, la comprensión del sistema se vuelve más clara cuando se considera su dimensión espacial. En particular, resulta relevante observar cómo se distribuyen geográficamente los contenedores dentro del territorio urbano y qué tipo de patrón territorial emerge de dicha distribución.

La Figura 3 presenta la localización geográfica de los contenedores domiciliarios dentro del territorio de Montevideo, diferenciados según el municipio al que pertenecen. Esta visualización permite observar la extensión territorial cubierta por el sistema y la distribución espacial de los puntos de almacenamiento dentro de cada zona administrativa.

Figura 3. *Distribución espacial de contenedores domiciliarios por municipio en Montevideo.*



Fuente: elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo.

Tal como puede observarse en la figura, la infraestructura de almacenamiento se distribuye a lo largo de todo el territorio urbano, aunque la concentración espacial de contenedores varía según la configuración territorial de cada municipio. Los municipios centrales, que presentan una mayor densidad poblacional y una menor extensión territorial, muestran una mayor concentración de puntos de almacenamiento, mientras que los municipios periféricos presentan una distribución más dispersa asociada a su mayor extensión geográfica.

En términos absolutos, la distribución de contenedores entre municipios presenta diferencias relativamente moderadas. El municipio con menor cantidad de contenedores es CH, con 1.166 unidades, mientras que el valor más alto corresponde al municipio C, con 1.661 contenedores. Entre ambos extremos la diferencia es de 495 unidades. El resto de los municipios se ubica dentro de un rango relativamente acotado, con valores que oscilan aproximadamente entre 1.300 y 1.600 contenedores.

Esta primera observación sugiere que, al menos en términos absolutos, la infraestructura de almacenamiento presenta una distribución relativamente equilibrada entre las distintas unidades administrativas de la ciudad. Sin embargo, esta aparente homogeneidad adquiere una interpretación distinta cuando se considera que los municipios de Montevideo presentan diferencias muy importantes en términos de superficie y

población. En este sentido, dicha distribución no responde únicamente a criterios técnicos, sino también a decisiones de carácter administrativo vinculadas a la accesibilidad del servicio, en línea con el objetivo institucional de garantizar proximidad territorial a los puntos de disposición de residuos. Como señaló Fernando Nopitsch[2], "lo que hay que asegurar a la gente es que no camine más de 100 metros", lo que evidencia que la localización de contenedores se estructura a partir de un criterio de cobertura espacial más que de una estricta proporcionalidad demográfica.

Para analizar estas diferencias, la Tabla 1 presenta algunos indicadores territoriales relevantes para cada municipio, incluyendo la población aproximada, la superficie y la densidad poblacional.

Tabla 1. *Indicadores territoriales por municipio*

Municipio	Contenedores	Habitantes	Superficie (km²)	Densidad (hab/km²)	% del total de contenedores
A	1498	203.088	212.6	955	12,70%
B	1343	154.588	17.7	8.726	11,40%
C	1661	145.891	26.7	5.467	14,10%
CH	1166	161.751	17.8	9.083	9,90%
D	1506	166.695	127.5	1.307	12,80%
E	1609	149.054	39.9	3.737	13,60%
F	1519	168.683	126.1	1.337	12,90%
G	1493	150.393	211.7	710	12,70%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los datos muestran que las unidades territoriales de Montevideo presentan diferencias muy marcadas en cuanto a tamaño físico y concentración de población. Por ejemplo, el municipio A posee una superficie de aproximadamente 212 km², mientras que los municipios B y CH apenas superan los 17 km². Esta diferencia implica que el territorio de A es más de doce veces mayor que el de algunos municipios centrales de la ciudad.

Las diferencias también son significativas en términos de densidad poblacional. Los municipios CH y B registran densidades superiores a los 8.700 habitantes por km², mientras que municipios como A y G presentan densidades muy inferiores, con valores cercanos a 955 y 710 habitantes por km² respectivamente. Esto significa que existen territorios dentro de la ciudad donde la concentración de población es más de diez veces mayor que en otros.

Cuando se contrastan estas diferencias territoriales con la distribución absoluta de contenedores presentada anteriormente, emerge un primer elemento relevante para el análisis. Municipios con características territoriales muy distintas reciben cantidades de infraestructura relativamente similares en términos absolutos.

[2] de Arruabarrena y Ghizzo (10 de Marzo 2026). Entrevista realizada a Fernando Nopitsch [Inédita]. Véase Anexo Entevista Fernando Nopitsch

Este patrón resulta particularmente visible cuando se comparan algunos casos específicos. El municipio CH, que presenta la mayor densidad poblacional de la ciudad con más de 9.000 habitantes por km², cuenta con 1.166 contenedores. En contraste, el municipio A, cuya densidad poblacional es casi diez veces menor, posee 1.498 contenedores. Del mismo modo, el municipio G, con una densidad cercana a 710 habitantes por km², registra una cantidad de contenedores muy similar a la de municipios considerablemente más densos.

Estas observaciones no permiten aún afirmar la existencia de un desajuste estructural en la distribución del sistema, pero sí sugieren que la infraestructura de almacenamiento podría no estar alineada de manera directa con la distribución territorial de la población. En este sentido, la aparente homogeneidad en la asignación de contenedores entre municipios podría responder más a una lógica administrativa o territorial que a una lógica basada estrictamente en la demanda potencial del servicio.

A partir de esta primera aproximación descriptiva, el análisis puede avanzar hacia un examen más detallado de la relación entre infraestructura disponible y presión demográfica sobre el sistema. En particular, el siguiente apartado analizará si existe una relación estadísticamente observable entre la cantidad de contenedores y variables territoriales como el tamaño del municipio o la densidad poblacional, con el objetivo de evaluar en qué medida la distribución de la infraestructura se encuentra alineada con la demanda potencial de almacenamiento de residuos.

4.2 Infraestructura y demanda potencial: evidencia de desajuste territorial

A partir de la descripción territorial presentada en el apartado anterior, resulta relevante analizar si la distribución de la infraestructura de almacenamiento responde de manera efectiva a la demanda potencial del sistema. Los resultados del análisis de correlación, cuya especificación metodológica se detalla en el apartado correspondiente, se presentan a continuación.

Tabla 2. *Correlación entre cantidad de contenedores y superficie del municipio*

Contenedores vs Superficie

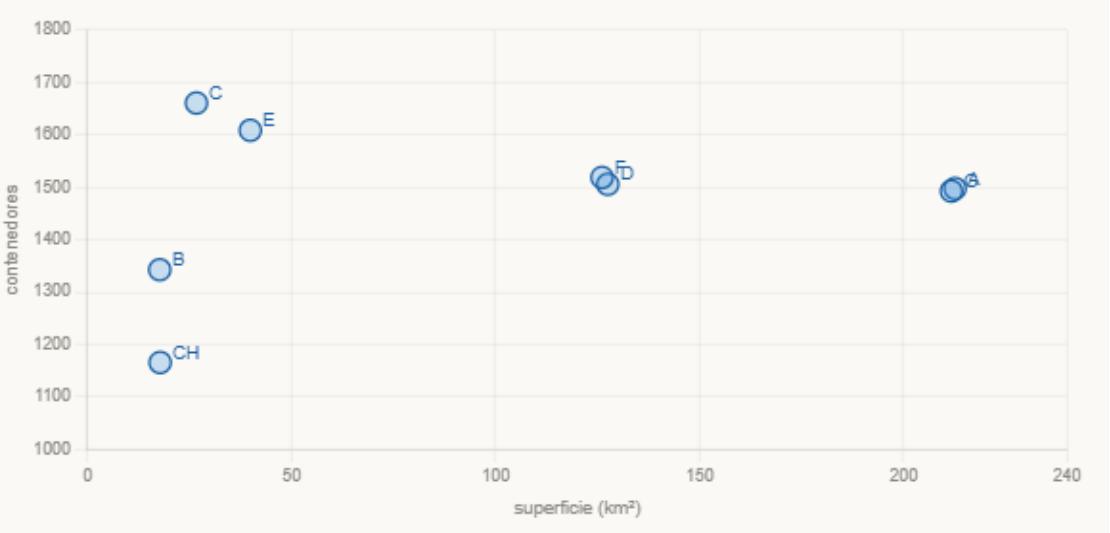
Método	Coeficiente	p-value
Pearson	0.232	0.5798
Spearman	0.167	0.6932

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que la relación entre la cantidad de contenedores y el tamaño territorial de los municipios es débil. Tanto el coeficiente de Pearson como el de Spearman presentan valores bajos, lo que indica que no existe una asociación clara entre

ambas variables. Asimismo, los valores de significación estadística (p-value) son elevados, lo que impide afirmar la existencia de una relación estadísticamente significativa entre la superficie del municipio y la cantidad de contenedores instalados.

Figura 4. *Relación entre superficie municipal y cantidad de contenedores domiciliarios en Montevideo*



Fuente: Elaboración propia.

En otras palabras, los datos no se ve evidencia de que los municipios con mayor extensión territorial cuenten sistemáticamente con una mayor cantidad de contenedores. Esto sugiere que la distribución de la infraestructura no parece responder de manera directa a criterios de cobertura espacial del territorio.

Un segundo análisis se orientó a evaluar la relación entre la cantidad de contenedores y la densidad poblacional de los municipios. Esta variable resulta particularmente relevante, ya que la densidad de población constituye un indicador aproximado de la presión potencial que la población ejerce sobre la infraestructura de almacenamiento de residuos.

Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. *Correlación entre cantidad de contenedores y densidad poblacional*

Contenedores vs Densidad

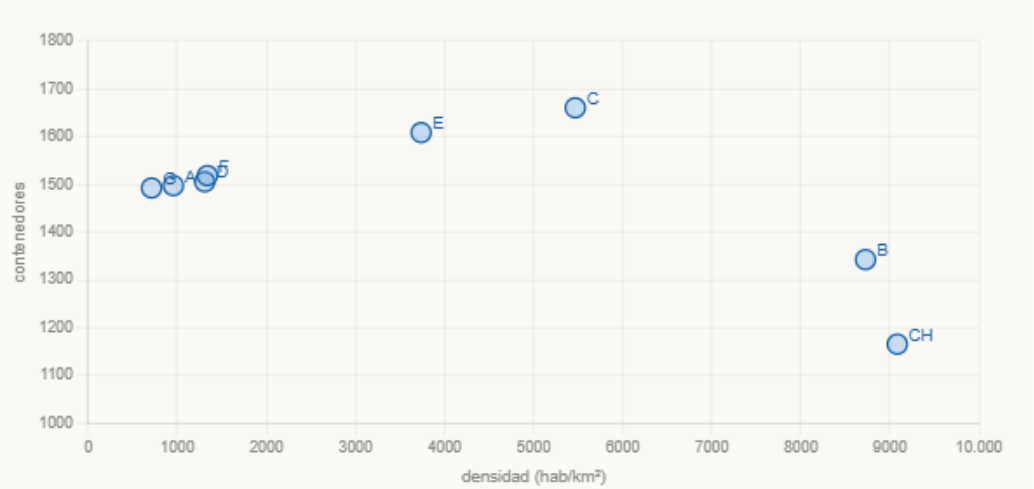
Método	Coeficiente	p-value
Pearson	−0.604	0.1129
Spearman	−0.167	0.6932

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los resultados tampoco muestran una asociación negativa clara entre la cantidad de contenedores y la densidad poblacional. El coeficiente de Pearson presenta un valor

negativo moderado-alto, mientras que el coeficiente de Spearman indica una relación muy débil entre ambas variables. Al igual que en el análisis anterior, los valores de significación estadística son elevados, lo que impide afirmar la existencia de una relación estadísticamente significativa entre la densidad poblacional y la cantidad de contenedores presentes en cada municipio.

Figura 5. *Relación entre densidad y cantidad de contenedores domiciliarios en Montevideo*



Fuente: Elaboración propia.

En términos sustantivos, estos resultados sugieren que la infraestructura de almacenamiento no parece estar organizada de manera consistente en función de la presión demográfica del territorio. Municipios con densidades poblacionales muy elevadas, como CH y B, no presentan necesariamente una mayor cantidad de contenedores que municipios con densidades considerablemente menores, como A o G como se ve en la Figura 5. En otras palabras, la distribución de la infraestructura no muestra una correspondencia clara con la intensidad potencial de uso del sistema.

Este resultado resulta particularmente relevante para el análisis general de la investigación, ya que refuerza la hipótesis de que el sistema de contenedores podría estar organizado bajo criterios que no reflejan plenamente la distribución territorial de la demanda potencial del servicio. En lugar de observarse un patrón de asignación claramente asociado a la presión poblacional o a la extensión territorial, los datos sugieren la existencia de una distribución relativamente homogénea entre municipios que presentan características territoriales muy distintas.

Si bien, como fue mencionado anteriormente, estos resultados no permiten establecer una relación estadísticamente concluyente entre la infraestructura y ninguna de las variables analizadas, la comparación sugiere que la distribución de contenedores podría estar levemente más asociada a criterios territoriales que a la presión demográfica del

sistema. En otras palabras, los datos parecen indicar que la asignación de infraestructura responde en mayor medida a la organización espacial del territorio que a la intensidad potencial de uso derivada de la concentración de población**.**

A partir de estos resultados, el análisis puede avanzar hacia una comprensión más completa del funcionamiento del sistema. Si bien la distribución territorial de la infraestructura no parece responder de manera directa ni a la superficie de los municipios ni a su densidad poblacional, el desempeño del sistema no depende únicamente de la localización de los contenedores. Existen factores de carácter operativo e institucional que condicionan de manera significativa la capacidad del sistema para funcionar con regularidad, independientemente de cómo esté distribuida la infraestructura. El apartado siguiente identifica el más relevante de estos factores antes de avanzar hacia el análisis del desempeño operativo propiamente dicho.

4.3 Conflictividad laboral como factor condicionante del sistema

Antes de avanzar hacia el análisis del desempeño operativo del sistema, resulta necesario identificar un factor estructural que condiciona la interpretación de los indicadores que se presentarán en los apartados siguientes: la conflictividad laboral crónica que afecta la continuidad del servicio de recolección en Montevideo.

El sistema de recolección de residuos domiciliarios opera bajo una estructura de gestión pública cuyo funcionamiento depende en gran medida del personal municipal nucleado en la Asociación de Empleados y Obreros Municipales (ADEOM). Esta dependencia convierte los conflictos laborales en una variable operativa de primer orden, con efectos directos y medibles sobre los indicadores de calidad del servicio.

Según referentes del sindicato, un circuito desatendido implica que entre 150 y 160 contenedores permanecen repletos de residuos, y la flota ha operado con la mitad de los obreros necesarios, con carencias de auxiliares de limpieza, choferes, administrativos y capataces (CEMPRE Uruguay, s.f.). Esta situación estructura una fragilidad sistémica: ante cualquier medida de fuerza, el impacto se distribuye de manera desigual en el territorio, afectando con mayor intensidad a los municipios con menor margen operativo.

Los contenedores desbordados se han vuelto a multiplicar en las calles de Montevideo en los últimos meses, en varios barrios donde hace más de una semana no pasa el camión recolector, situación que coincide con una sucesión de paros de ADEOM en el marco de la negociación por el convenio colectivo quinquenal (El Observador, 2026). Esta recurrencia no es nueva, en 2009 existió una extensa huelga del sector que obligó al gobierno a decretar la esencialidad del servicio (CEMPRE Uruguay, s.f.) lo que revela que la conflictividad laboral no constituye una anomalía puntual sino un factor estructural del sistema.

Esta condición estructural tiene una implicancia directa sobre los resultados que se presentan en los apartados siguientes: una parte de los indicadores de demora en el levante y de contenedores críticos podría explicarse por interrupciones operativas de origen laboral, y no exclusivamente por deficiencias en la planificación territorial de la infraestructura. Separar ambas fuentes de variación no es posible, dado que los datos disponibles no registran qué municipios, circuitos o contenedores fueron afectados por cada episodio de conflicto laboral ni en qué medida, pero reconocerlas es necesario para una interpretación honesta de los indicadores que se analizan a continuación.

4.4 Organización operativa del sistema: distribución de contenedores por circuito

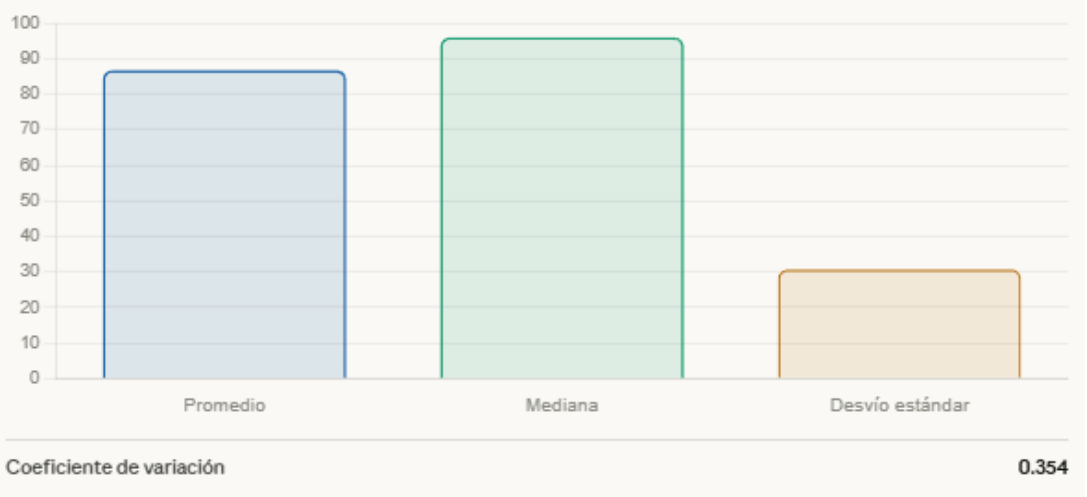
El análisis territorial presentado en los apartados anteriores permitió examinar cómo se distribuye la infraestructura de almacenamiento dentro de la ciudad y evaluar si dicha distribución guarda relación con variables territoriales relevantes como la superficie o la densidad poblacional. Sin embargo, la disponibilidad de infraestructura constituye solo una parte del funcionamiento del sistema de gestión de residuos. El desempeño efectivo del servicio depende también de cómo se organiza operativamente la recolección de los contenedores dentro de la red de circuitos.

Los circuitos de recolección representan las rutas operativas mediante las cuales los camiones recolectores realizan el vaciado de los contenedores domiciliarios. Cada circuito agrupa un conjunto determinado de contenedores que son atendidos dentro de un recorrido específico. En términos logísticos, esta estructura define la forma en que se distribuye la carga de trabajo dentro del sistema y condiciona variables fundamentales como el tiempo de recorrido, la frecuencia de levante y la capacidad operativa para responder ante situaciones de saturación.

A diferencia de la infraestructura territorial, los circuitos no se organizan estrictamente siguiendo los límites administrativos de los municipios. Un mismo circuito puede atravesar distintos sectores de la ciudad y atender contenedores ubicados en diferentes zonas. Por esta razón, el análisis de la carga operativa se realiza a nivel de circuito, considerando la cantidad de contenedores que cada uno debe atender dentro de la red de recolección.

Para comprender cómo se distribuye esta carga dentro del sistema se calcularon distintos indicadores descriptivos asociados a la cantidad de contenedores por circuito. Los resultados se presentan en la Figura 6.

Figura 6. *Indicadores descriptivos de contenedores por circuito*

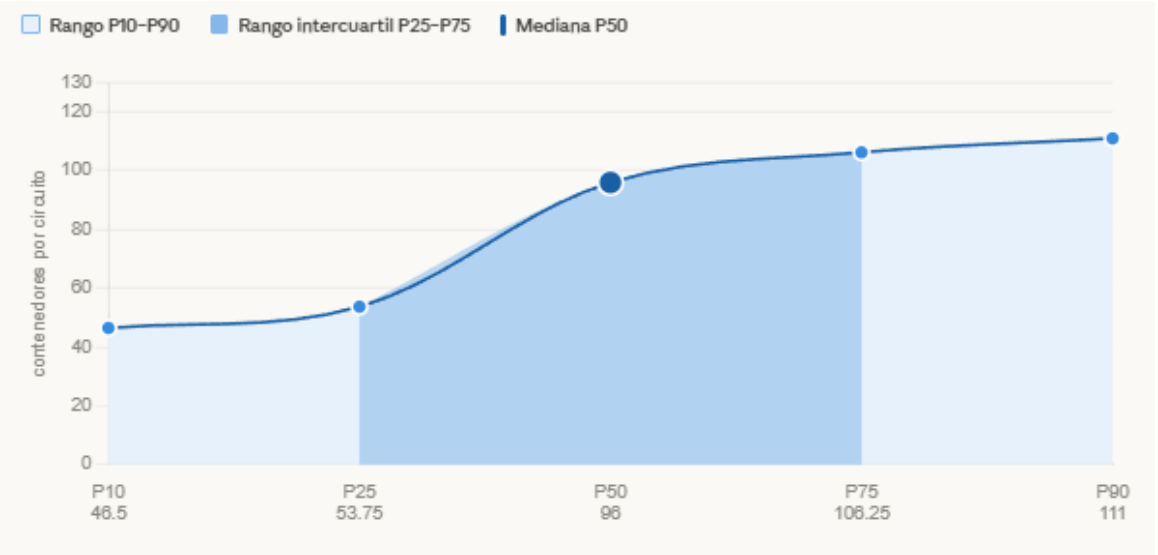


Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los resultados muestran que cada circuito atiende en promedio aproximadamente 87 contenedores, con una mediana cercana a los 96. La diferencia entre ambos valores sugiere una ligera asimetría en la distribución de la carga operativa dentro del sistema. El desvío estándar de 30.72 contenedores indica que existe una dispersión moderada en la cantidad de contenedores asignados a cada circuito, mientras que el coeficiente de variación de 0.354 sugiere que la variabilidad relativa del sistema se mantiene en niveles intermedios.

Para analizar con mayor detalle la forma en que se distribuye esta carga dentro de la red de circuitos se calcularon distintos percentiles de la distribución de contenedores por circuito. Los resultados se presentan en la Figura 7.

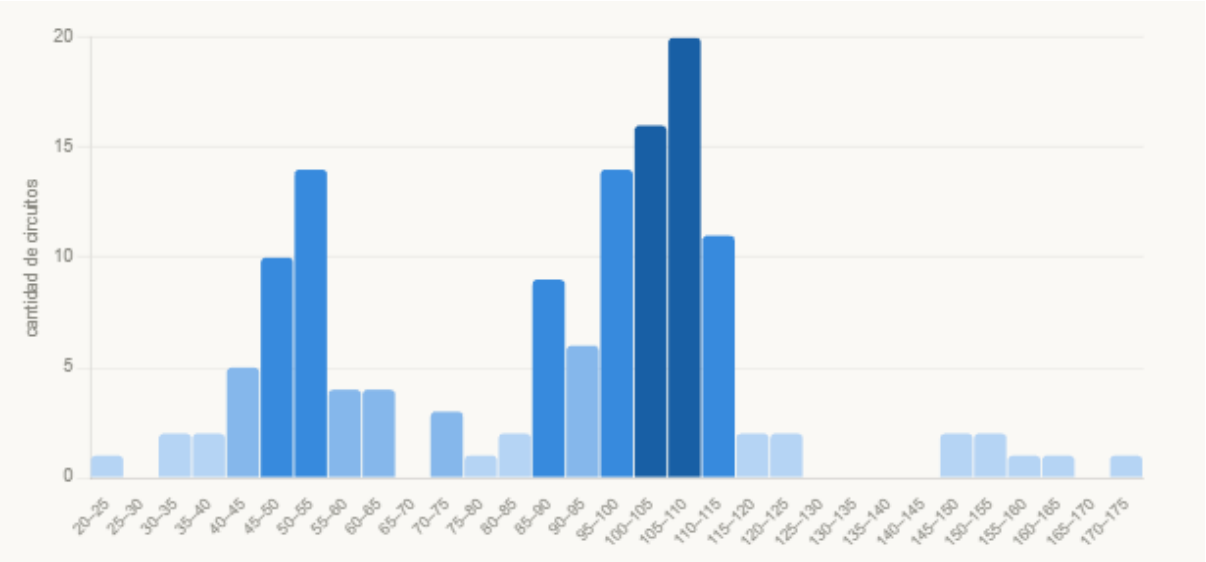
Figura 7. *Percentiles de contenedores por circuito*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

El análisis de percentiles permite observar que la mayor parte de los circuitos concentra una carga operativa relativamente similar. En particular, el 50% central de los circuitos se ubica aproximadamente entre 54 y 106 contenedores. Esto sugiere que una proporción significativa de la red opera dentro de un rango relativamente homogéneo de carga operativa.

Figura 8. *Estructura bimodal en la distribución de carga operativa por circuito de recolección*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

La Figura 8 ilustra la distribución de frecuencias de contenedores por circuito mediante un histograma con intervalos de cinco unidades. La visualización permite identificar con mayor claridad la estructura bimodal de la distribución: un primer agrupamiento concentrado entre los 95 y 115 contenedores, que reúne la mayor parte de los circuitos del sistema, y un segundo agrupamiento de menor tamaño ubicado entre los 40 y 65 contenedores, compuesto principalmente por circuitos de los municipios CH y D. Esta segmentación refuerza la existencia de una asimetría operativa dentro de la red que no resulta completamente visible a partir de los indicadores descriptivos agregados presentados en las figuras anteriores.

Sin embargo, también se observan circuitos que presentan valores considerablemente más bajos o más altos que los rangos centrales de la distribución. La Figura 9 presenta algunos de los circuitos con menor cantidad de contenedores dentro del sistema.

Figura 9. *Circuitos con menor cantidad de contenedores*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

En el extremo opuesto, la Figura 10 presenta algunos de los circuitos con mayor carga operativa dentro del sistema.

Figura 10. *Circuitos con mayor cantidad de contenedores*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

La comparación entre estos extremos permite observar que algunos circuitos pueden llegar a atender hasta ocho veces más contenedores que otros dentro de la red. Esta diferencia evidencia la existencia de una asimetría operativa dentro del sistema de recolección. Si bien la mayor parte de los circuitos se concentra dentro de rangos relativamente similares de carga, un subconjunto reducido presenta valores considerablemente más altos o más bajos que el promedio.

Desde el punto de vista logístico, estas diferencias pueden tener implicancias importantes para el funcionamiento del sistema. Circuitos con una carga elevada de contenedores pueden implicar recorridos más extensos, mayores tiempos de operación y

una utilización más intensiva de los recursos disponibles. Por el contrario, circuitos con cargas muy reducidas pueden reflejar configuraciones territoriales específicas o decisiones operativas orientadas a cubrir zonas con menor densidad de infraestructura.

En conjunto, estos resultados permiten caracterizar la red de recolección de Montevideo como un sistema con una distribución de carga moderadamente desigual. Si bien la mayor parte de los circuitos opera dentro de rangos relativamente similares de contenedores, existe un subconjunto reducido de recorridos con cargas considerablemente más altas o más bajas que el promedio, lo que evidencia una asimetría operativa estructural dentro de la red. Desde una perspectiva logística, esta heterogeneidad no es trivial: los circuitos con mayor concentración de contenedores enfrentan exigencias operativas más intensas, con recorridos más extensos y mayores tiempos de operación, mientras que los circuitos de carga reducida pueden reflejar configuraciones territoriales específicas como zonas de baja densidad o infraestructura vial limitada que condicionan las posibilidades de optimización del sistema.

A partir de esta caracterización de la estructura operativa, el análisis puede avanzar hacia una dimensión aún más directa del desempeño del servicio: el estado operativo de los contenedores y la frecuencia con la que estos son efectivamente levantados. En particular, el siguiente apartado examina la presencia de contenedores críticos, definidos como aquellos que permanecen más de tres días sin ser levantados, con el objetivo de evaluar si las diferencias observadas en la organización operativa del sistema se reflejan también en su funcionamiento efectivo.

4.5 Contenedores críticos: evidencia de desempeño desigual del sistema

En esta investigación se consideran contenedores críticos aquellos que permanecen más de tres días sin ser levantados, criterio cuya justificación se detalla en el apartado metodológico. Para contextualizar este umbral en relación con el funcionamiento real del sistema, la Tabla 4 presenta para cada municipio la frecuencia promedio de recolección semanal estimada junto con los días promedio sin levantar efectivamente registrados.

Tabla 4. *Frecuencia de recolección prevista y días promedio sin levantar por municipio*

Municipio	Recolecciones previstas / semana	Días promedio sin levantar	Situación
E	2.975	3.46	supera umbral
D	3.000	3.24	supera umbral
C	3.000	3.06	supera umbral
G	3.000	2.99	supera umbral
A	3.000	2.95	supera umbral
F	3.000	2.78	supera umbral
CH	2.352	2.37	dentro del rango
B	2.119	0.77	dentro del rango

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo.

La lectura conjunta de ambas columnas es reveladora. El sistema prevé en promedio aproximadamente tres recolecciones semanales, lo que equivale a un intervalo esperado de dos a tres días entre levantes. Sin embargo, en los municipios E, D y C, los días promedio sin levantar ya se ubican por encima de ese umbral, lo que indica que la demora no se limita a casos excepcionales sino que forma parte del comportamiento medio del sistema en esos territorios. En el extremo opuesto, el municipio B presenta apenas 0,77 días promedio sin levantar, muy por debajo de lo que su propia frecuencia de recolección permitiría esperar, lo que sugiere una dinámica de levante considerablemente más eficiente que el resto de la ciudad.

Una vez establecida esta brecha entre el desempeño previsto y el efectivo, resulta necesario analizar en qué medida la criticidad se distribuye de manera homogénea o diferenciada en el territorio. Para ello se calculó la proporción de contenedores críticos en cada municipio. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. *Proporción de contenedores críticos por municipio*

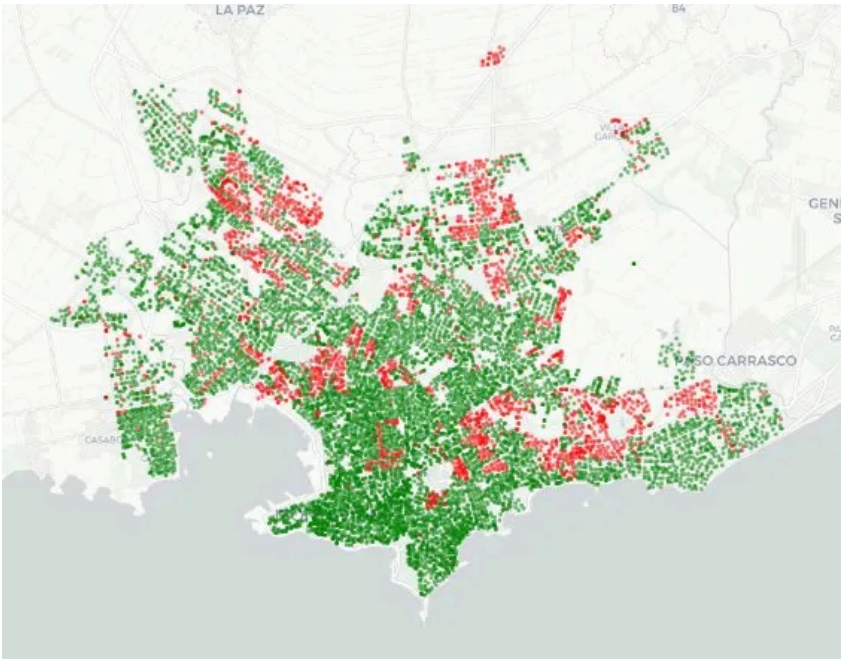
Municipio	Proporción críticos	%
E		38.84%
G		30.16%
F		22.23%
C		21.68%
D		18.50%
CH		11.87%
A		10.17%
B		2.16%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo.

Los datos muestran con claridad que la criticidad no se distribuye de manera homogénea en el territorio. El municipio E concentra la situación más extrema, con casi cuatro de cada diez contenedores presentando episodios críticos, seguido por G con 30,16%, F con 22,23% y C con 21,68%. En el otro extremo, B registra apenas 2,16%, una proporción dieciocho veces menor que la de E. Esta magnitud excede lo que podría atribuirse a variaciones operativas menores y apunta a diferencias estructurales en la capacidad de respuesta del sistema según el territorio.

La dimensión espacial de este problema puede apreciarse con mayor claridad en la Figura 11, que mapea la distribución geográfica de los contenedores críticos en el conjunto de la ciudad.

Figura 11. *Distribución territorial de contenedores críticos en Montevideo (verde: no crítico · rojo: crítico)*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo.

El mapa permite observar que los contenedores críticos no se distribuyen aleatoriamente en el territorio, sino que tienden a concentrarse en zonas específicas de la ciudad. Se identifican agrupamientos de puntos rojos de mayor densidad en la franja noroeste y en el corredor costero este, que corresponden aproximadamente a las áreas de los municipios E, G y F. Por el contrario, las zonas centrales y sur de la ciudad presentan una mayor predominancia de puntos verdes, consistente con los bajos valores registrados en el municipio B. Esta distribución espacial refuerza la hipótesis de que las desigualdades

en el desempeño del sistema no son aleatorias sino que responden a patrones territoriales identificables, posiblemente vinculados a la densidad de infraestructura, la organización de los circuitos y la capacidad operativa diferencial entre zonas de la ciudad.

Para profundizar en la intensidad de estas demoras más allá de la proporción de casos críticos, se analizaron medidas descriptivas de la distribución de días sin levantar por municipio, incluyendo promedio, mediana y percentil 90. Estos indicadores permiten distinguir entre municipios donde la criticidad afecta al comportamiento general del sistema y aquellos donde el problema se concentra en episodios severos pero acotados. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. *Medidas descriptivas de días sin levantar por municipio*

MUNICIPIO	promedio	mediana	p90
E	3.459164	3.0	5.0
D	3.240607	3.0	8.0
C	3.058752	3.0	4.0
G	2.992903	2.0	6.0
A	2.950938	3.0	5.0
F	2.779856	1.0	8.0
CH	2.368874	2.0	4.0
B	0.769747	0.0	2.0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo.

Las medidas descriptivas permiten observar matices importantes. En los municipios E, D y C, no solo los promedios son elevados sino que las medianas también alcanzan los 3 días, lo que confirma que el retraso no responde a casos extremos aislados sino que afecta a una porción considerable de los contenedores de manera sistemática. En D, además, el percentil 90 asciende a 8 días, lo que indica que una parte significativa de sus contenedores permanece sin levante durante períodos muy superiores al umbral crítico. El municipio F presenta una configuración diferente: su promedio es 2,78 días y su mediana apenas 1, pero el percentil 90 alcanza también los 8 días, lo que sugiere una distribución altamente asimétrica donde la mayor parte de los contenedores es atendida con rapidez pero un subconjunto sufre demoras muy prolongadas. En el extremo opuesto, B registra una mediana de 0 y un percentil 90 de 2, lo que significa que incluso sus casos más demorados se mantienen por debajo del umbral crítico.

En conjunto, los resultados de este apartado muestran que la criticidad del sistema de contenedores en Montevideo no es un fenómeno difuso ni homogéneo, sino que se

encuentra territorialmente concentrada y responde a patrones operativos diferenciados según el municipio. Esta evidencia permite pasar de una lectura estructural del sistema centrada en infraestructura y organización de circuitos a una lectura de desempeño efectivo que revela desigualdades concretas en la experiencia del servicio según el lugar de residencia. Sin embargo, el análisis técnico y operativo del sistema no agota por sí solo la comprensión del problema. Las deficiencias en la frecuencia de levante y la acumulación de contenedores sin vaciar tienen también una traducción en la percepción ciudadana, que se expresa a través de los reclamos formales dirigidos a la Intendencia. Como se verá en el apartado siguiente, el análisis de esos reclamos permite contrastar la evidencia operativa con la voz de los propios usuarios del sistema y evaluar en qué medida las desigualdades territoriales identificadas se reflejan también en la experiencia que la ciudadanía construye sobre el servicio.

4.6 Reclamos ciudadanos vinculados al sistema de contenedores

La relevancia de la gestión de residuos sólidos urbanos no se limita a sus dimensiones técnicas y operativas, sino que se expresa también en la percepción que la ciudadanía construye sobre el funcionamiento de los servicios urbanos. En este sentido, la evidencia proveniente de encuestas de opinión pública resulta un insumo complementario para comprender el impacto social de las deficiencias del sistema. Los datos de Equipos Consultores correspondientes a la serie 2007–2025 para la ciudad de Montevideo muestran que la evaluación ciudadana del servicio de recolección de basura ha presentado una tendencia sostenida de deterioro en su valoración positiva. Según esta fuente, en 2007 el 63% de los encuestados calificaba el servicio como "muy bueno" o "bueno", mientras que para 2025 esa proporción descendió al 33%, representando una caída de 30 puntos porcentuales en el transcurso de casi dos décadas. En paralelo, la proporción de evaluaciones negativas ("malo" o "muy malo") se incrementó de 16% a 49% en el mismo período.

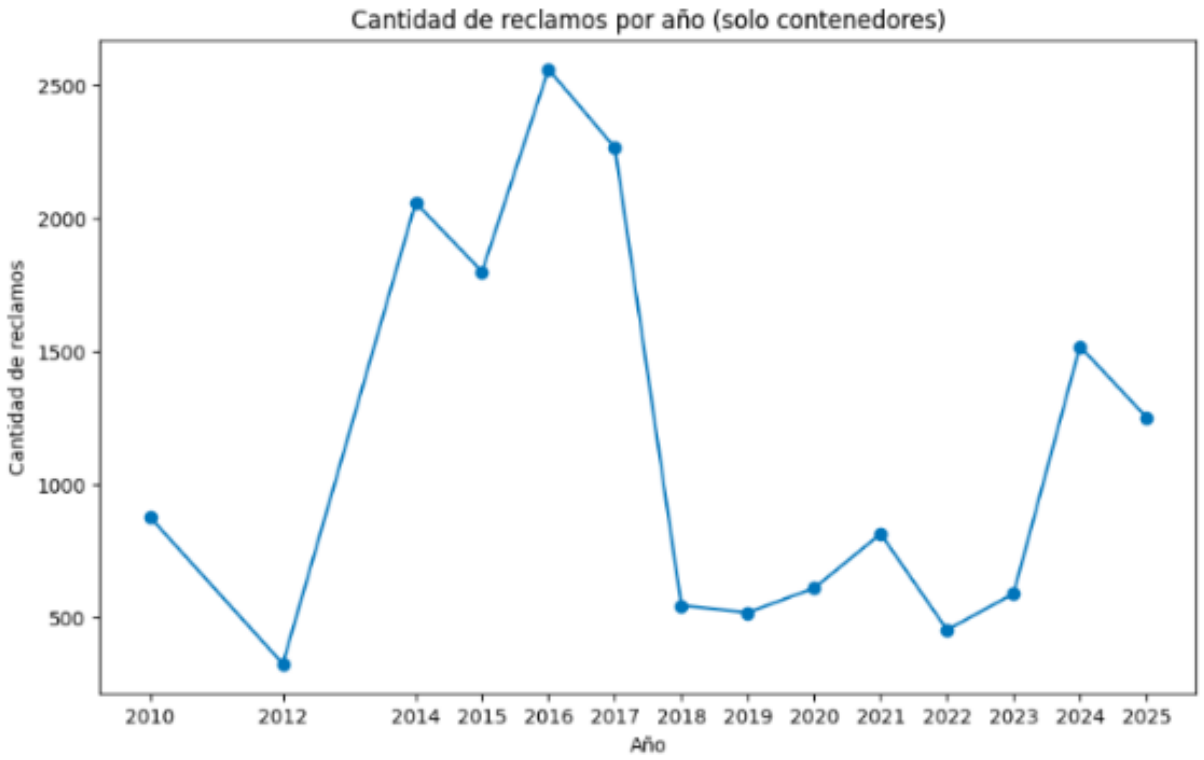
Estos datos aportan una dimensión adicional al problema analizado en la presente investigación. El deterioro sostenido en la percepción ciudadana del servicio de recolección es consistente con los planteos del Banco Mundial, que advierte que las deficiencias en la infraestructura urbana de gestión de residuos tienen impactos directos sobre la percepción ciudadana de los servicios urbanos (World Bank, 2018). En este marco, la opinión pública no opera únicamente como un indicador subjetivo, sino como una señal de alerta sobre el desempeño real del sistema, que complementa los indicadores operativos y refuerza la necesidad de analizar la adecuación territorial de la infraestructura de almacenamiento de residuos.

En este sentido, los reclamos registrados por los usuarios constituyen una fuente de información valiosa para evaluar cómo se manifiestan las posibles fallas del sistema en la experiencia cotidiana de la población.

Los reclamos vinculados al sistema de contenedores reflejan situaciones en las que los ciudadanos perciben problemas en el funcionamiento del servicio, tales como contenedores desbordados, falta de levante o deterioro del estado de los recipientes. Por esta razón, el análisis de estos registros permite aproximarse a la dimensión social del desempeño del sistema y evaluar si las dificultades operativas identificadas en los apartados anteriores se traducen también en una mayor percepción de problemas por parte de los usuarios.

Para comenzar, se analizó la evolución temporal de los reclamos asociados a contenedores en la ciudad de Montevideo. Los resultados se presentan en la Figura 12, que muestra la cantidad total de reclamos registrados por año.

Figura 12. *Cantidad de reclamos por año vinculados a contenedores*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

La evolución temporal de los reclamos muestra que el problema no se limita a un período puntual, sino que se mantiene presente a lo largo del tiempo. Si bien se observan variaciones entre años, el volumen de reclamos evidencia que los problemas vinculados al sistema de contenedores constituyen una preocupación recurrente dentro de la gestión urbana. En particular, se observan picos de reclamos en algunos períodos, lo que sugiere

momentos de mayor presión sobre el sistema o de mayor visibilidad del problema en la agenda pública.

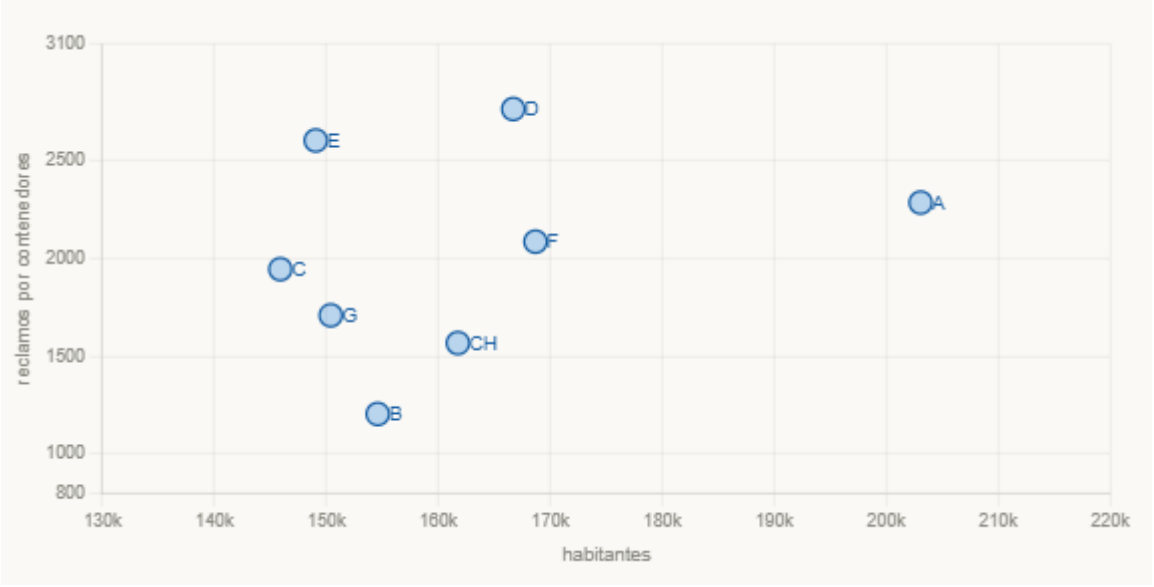
Más allá de la evolución temporal, resulta especialmente relevante analizar cómo se distribuyen territorialmente estos reclamos dentro de la ciudad. Para ello se calculó la cantidad total de reclamos asociados a contenedores en cada municipio y se normalizó este valor en función de la población residente, obteniendo un indicador de reclamos por cada mil habitantes. Los resultados se presentan en la Tabla 7 y la Figura 13.

Tabla 7. *Reclamos vinculados a contenedores por municipio*

Municipio	Reclamos	Habitantes	Reclamos x 1000 hab
E	2.606	149.054	17,48
D	2.767	166.695	16,6
C	1.947	145.891	13,35
F	2.088	168.683	12,38
G	1.711	150.393	11,38
A	2.288	203.088	11,27
CH	1.569	161.751	9,7
B	1.206	154.588	7,8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Figura 13. *Relación entre población municipal y volumen de reclamos vinculados a contenedores en Montevideo*



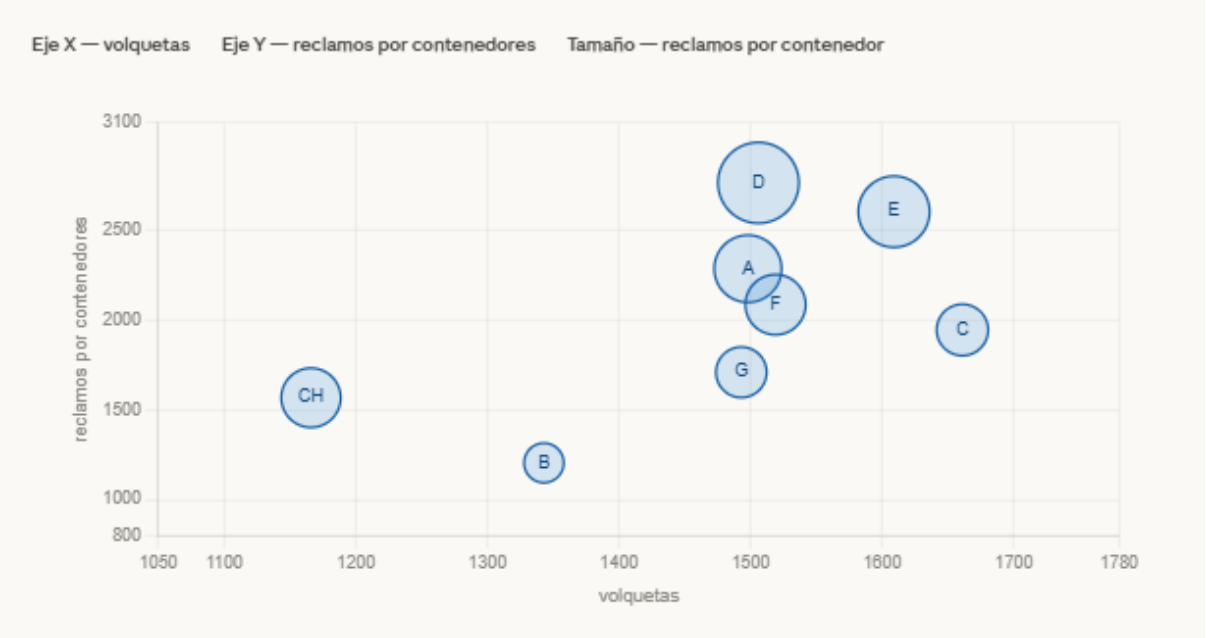
Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los resultados muestran nuevamente diferencias territoriales significativas. Los municipios E y D presentan los niveles más altos de reclamos en términos relativos, con 17,48 y 16,60 reclamos por cada mil habitantes respectivamente, seguidos por C con 13,35 y F con 12,38. En el extremo opuesto, B registra el valor más bajo del sistema con 7,80 reclamos por cada mil habitantes, menos de la mitad que E.

Este patrón adquiere especial relevancia cuando se lo contrasta con los resultados del análisis de contenedores críticos. Los municipios con mayor intensidad de reclamos por habitante E, D y C coinciden precisamente con aquellos que presentaban las proporciones más altas de contenedores críticos. Para evaluar la solidez de esta asociación se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman entre ambas variables. Los resultados indican una correlación positiva alta en ambos casos (Pearson = 0.736, p = 0.037; Spearman = 0.738, p = 0.036), estadísticamente significativa al nivel de 0,05 a pesar del reducido tamaño muestral (n = 8). Este resultado fortalece la hipótesis de que las dificultades operativas identificadas en el sistema no constituyen un fenómeno técnico aislado, sino que se traducen de manera directa en la experiencia cotidiana de los usuarios. A su vez, B vuelve a destacar como el caso más favorable en ambas dimensiones — menor criticidad operativa y menor volumen de reclamos relativos, lo que refuerza la consistencia del patrón territorial identificado a lo largo del capítulo.

Para complementar esta lectura se analizó la relación entre la cantidad de reclamos y la cantidad de contenedores existentes en cada municipio. Este indicador permite aproximarse a la intensidad del problema en relación con la infraestructura disponible. Los resultados se presentan en la Figura 14.

Figura 14. *Reclamos por contenedor según municipio*



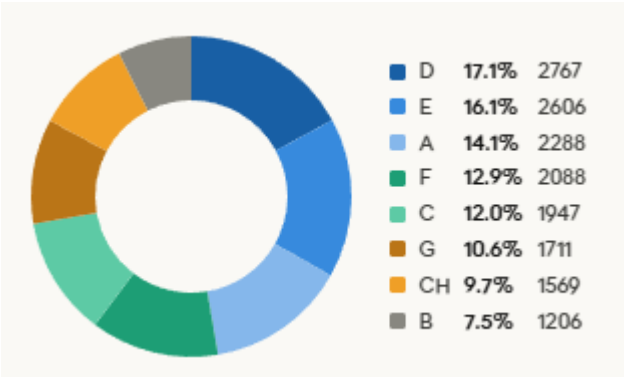
Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

En este caso, el municipio D presenta la mayor intensidad de reclamos por contenedor, con aproximadamente 1,84 reclamos por unidad de infraestructura. Le siguen E con 1,62 y A con 1,53. En el extremo opuesto se encuentra nuevamente B, con menos de un reclamo por contenedor en promedio.

Este resultado refuerza la idea de que las diferencias observadas no responden únicamente al tamaño de los municipios o a la cantidad total de contenedores disponibles, sino también al funcionamiento efectivo del sistema. En aquellos territorios donde el sistema parece operar con mayores dificultades, la intensidad de reclamos por unidad de infraestructura tiende a ser mayor.

Para observar con mayor claridad cómo se distribuyen los reclamos dentro de la ciudad se calculó también la participación porcentual de cada municipio en el total de reclamos asociados a contenedores. Los resultados se presentan en la Figura 15.

Figura 15. *Participación porcentual de reclamos por municipio*



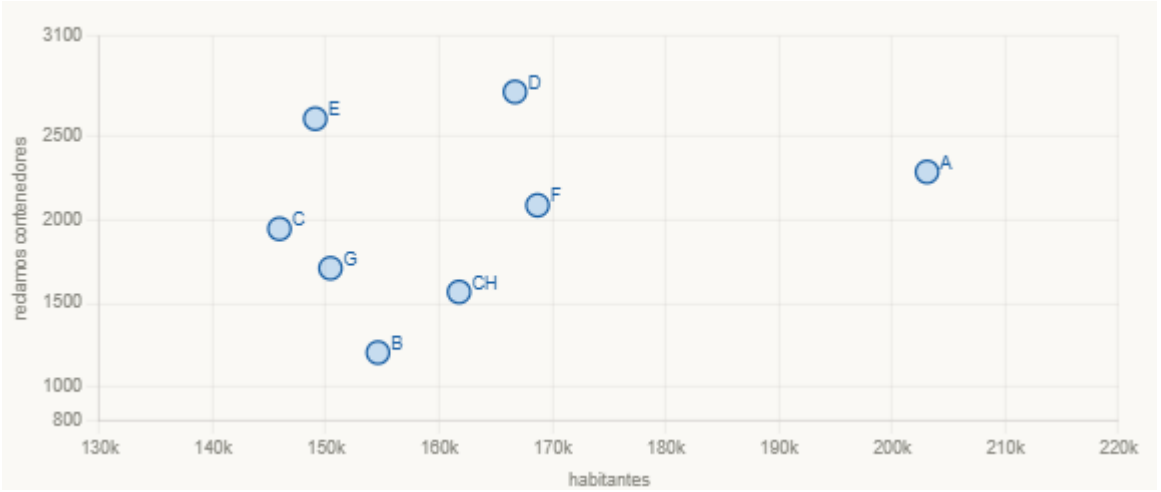
Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los municipios D y E concentran juntos más de un tercio del total de reclamos asociados al sistema de contenedores, lo que refuerza su centralidad dentro del problema analizado. En contraste, el municipio B presenta la menor participación relativa dentro del total de reclamos.

Este resultado vuelve a ser consistente con el análisis previo del desempeño operativo del sistema, donde B aparecía como uno de los municipios con menor proporción de contenedores críticos y menores tiempos promedio sin levante. De esta forma, los indicadores operativos y los registros de reclamos parecen describir patrones territoriales similares dentro del funcionamiento del sistema.

Adicionalmente, se analizaron algunas relaciones estadísticas entre variables vinculadas a los reclamos. Los resultados se presentan en la Figura 16.

Figura 16. *Correlaciones entre población y reclamos*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los resultados confirman que no existe una relación estadísticamente significativa entre la cantidad de habitantes de cada municipio y el volumen de reclamos registrados (Pearson = −0.125, p = 0.789; Spearman = −0.333, p = 0.420). El scatter plot refuerza esta lectura: municipios con poblaciones similares presentan niveles de reclamos muy diferentes E con 149.054 habitantes concentra 2.606 reclamos, mientras que CH con 161.751 habitantes registra apenas 1.569. Esta ausencia de correlación es en sí misma un hallazgo relevante, ya que descarta el tamaño demográfico como factor explicativo de las desigualdades territoriales observadas. En otras palabras, el volumen de reclamos no responde a cuánta gente vive en cada municipio, sino a cómo funciona el sistema en ese territorio. Este resultado es consistente con el análisis previo de contenedores críticos, donde tampoco la población explicaba las diferencias en desempeño operativo, y refuerza la idea de que los factores determinantes de la calidad del servicio son de naturaleza logística y organizativa más que demográfica.

Finalmente, para contextualizar la relevancia del problema dentro del conjunto de demandas ciudadanas, se analizó la distribución de reclamos por tipo de servicio urbano. Los resultados se presentan en la Figura 17.

Figura 17. *Principales tipos de reclamos registrados*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

El análisis de la distribución temática de los reclamos permite situar el problema de los contenedores dentro del conjunto más amplio de demandas ciudadanas sobre los servicios urbanos. Como muestra la Figura 17, el rubro con mayor volumen de reclamos es el alumbrado, con el 22,9% del total. Sin embargo, si se consideran conjuntamente los reclamos clasificados como "contenedores" y "estado de los contenedores", ambas categorías suman aproximadamente el 17,1% del total, posicionando al sistema de recolección de residuos como el segundo problema más reclamado de la ciudad. A esto se suma que "problema de limpieza" — tercera categoría con 14,6% — incluye situaciones que frecuentemente se vinculan con deficiencias en la recolección domiciliaria, lo que sugiere que el peso real del problema podría ser aún mayor si se considerara una agregación más amplia de categorías relacionadas.

Este resultado adquiere mayor relevancia cuando se lo contrasta con la evidencia proveniente de encuestas de opinión comentadas al inicio del capítulo. La caída sostenida en la valoración ciudadana del servicio de recolección registrada entre 2007 y 2025 no es un fenómeno aislado: los reclamos formales muestran que los contenedores constituyen una fuente concreta y cuantificable de insatisfacción, que se expresa tanto en la vía administrativa como en la percepción general sobre la calidad de los servicios urbanos. En conjunto, ambas fuentes convergen en señalar que el sistema de contenedores representa uno de los principales núcleos de malestar ciudadano en Montevideo.

Los resultados de este apartado cierran un diagnóstico coherente: las desigualdades operativas identificadas en los apartados anteriores se expresan también en la distribución territorial de los reclamos y en el deterioro sostenido de la valoración ciudadana del servicio.

Este panorama plantea la pregunta de si las dificultades observadas son propias de Montevideo o responden a limitaciones estructurales más amplias. Para aproximarse a esa pregunta, el apartado siguiente contrasta el sistema montevideano con los casos de Lisboa y Valencia, dos ciudades europeas con sistemas de gestión de residuos consolidados.

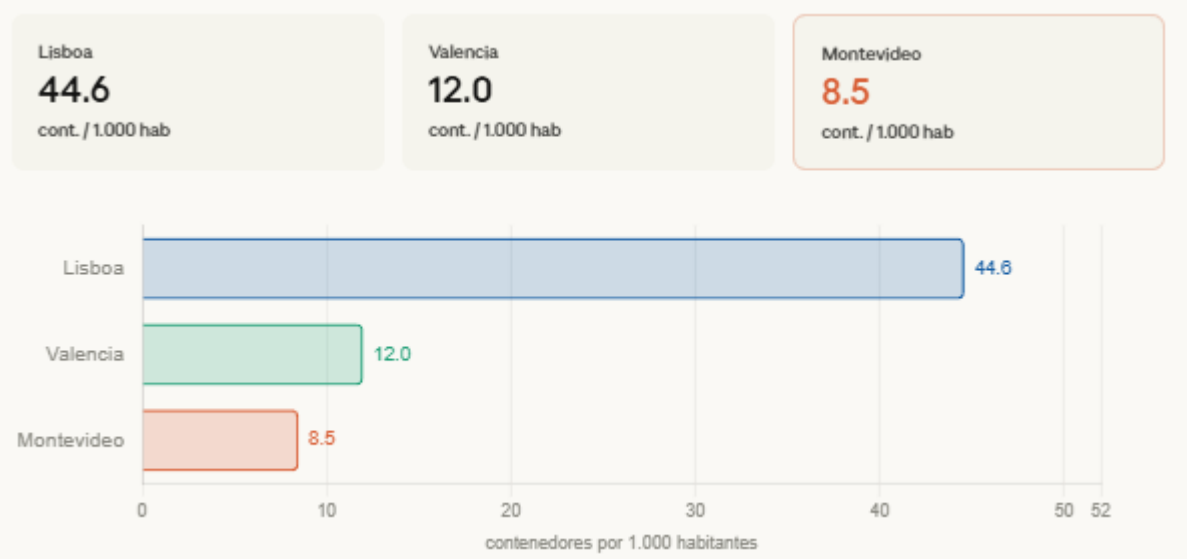
4.7 Comparación internacional: Lisboa y Valencia

Una vez analizado el funcionamiento del sistema de contenedores en Montevideo a partir de su infraestructura, su organización operativa y los indicadores de desempeño observados, resulta pertinente contrastar estos resultados con experiencias de otras ciudades que han desarrollado sistemas de gestión de residuos consolidados. Con este objetivo, la presente investigación incorpora una comparación con los casos de Lisboa y Valencia. Los criterios metodológicos utilizados para construir esta comparación, incluyendo las unidades territoriales y los tipos de contenedores considerados en cada ciudad, se detallan en el apartado metodológico correspondiente.

4.7.1 Comparación de infraestructura general

Una primera aproximación comparativa refiere a la escala general de infraestructura disponible en cada sistema. Para hacer esta comparación mínimamente válida entre modelos distintos, se consideraron únicamente los contenedores destinados a residuos urbanos generales en cada ciudad los clasificados como "lixo" en Lisboa y los domiciliarios estándar en Valencia y Montevideo. Los resultados se presentan en la Figura 18.

Figura 18. *Cantidad de contenedores comparables y cobertura por habitante*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Lisboa, Montevideo y Valencia.

La diferencia en cobertura por habitante es considerable. Lisboa presenta más de cinco veces más contenedores por cada mil habitantes que Montevideo, mientras que Valencia prácticamente duplica la cobertura montevideana. Esta brecha, aun reconociendo

que los modelos no son directamente equiparables, sugiere que Montevideo opera con una densidad de infraestructura notablemente menor en términos relativos. Parte de esta diferencia se explica por el modelo operativo: en sistemas domiciliarios cada contenedor atiende a un número reducido de usuarios, lo que requiere más unidades para cubrir el mismo territorio. Sin embargo, incluso ajustando por esta consideración, la escala de infraestructura de Montevideo parece insuficiente en relación con su población.

4.7.2 Diferencias en el modelo de gestión

Más allá de la escala de infraestructura, los tres sistemas reflejan decisiones de política urbana cualitativamente distintas en cuanto a cómo se asigna y distribuye esa infraestructura en el territorio.

En Lisboa y Valencia, el modelo domiciliario implica una asignación de contenedores directamente proporcional a la demanda de cada unidad residencial. Cada edificio o conjunto de viviendas recibe una cantidad de contenedores calculada en función de su número de habitantes y su producción estimada de residuos. Esto genera, por definición, una distribución territorialmente heterogénea — zonas más densas o con mayor generación de residuos concentran más infraestructura — lo que explica los coeficientes de variación elevados observados en ambas ciudades (Lisboa CV = 0.76, Valencia CV = 0.68). Esta heterogeneidad no es un defecto del sistema sino la consecuencia directa de una lógica de asignación orientada a la demanda específica de cada territorio.

En Montevideo, en cambio, el modelo de contenedores colectivos de vía pública implica una lógica de distribución diferente. Los contenedores no se asignan a edificios sino a zonas, y su distribución responde a criterios de accesibilidad y cobertura territorial más que a estimaciones precisas de demanda. Esto genera una distribución más homogénea — CV = 0.35 — que, como se mostró en los apartados anteriores, no necesariamente se traduce en un mejor desempeño operativo. La homogeneidad del sistema montevideano refleja una decisión de cobertura uniforme que no contempla las diferencias en generación de residuos entre zonas de distinta densidad o composición socioeconómica.

Esta diferencia de modelo tiene implicancias directas para interpretar los resultados observados. Las desigualdades territoriales en contenedores críticos y reclamos ciudadanos identificadas en capítulos anteriores podrían estar relacionadas, al menos en parte, con una asignación de infraestructura que no refleja adecuadamente las diferencias en la demanda real del servicio entre municipios.

4.7.3 Reflexión comparada y límites interpretativos

La comparación presentada en este apartado permite identificar dos diferencias estructurales relevantes entre Montevideo y las ciudades de referencia, dentro de los límites que impone la heterogeneidad metodológica entre sistemas.

En primer lugar, Montevideo opera con una densidad de infraestructura por habitante significativamente menor que Lisboa y Valencia, lo que constituye una limitación estructural del sistema independientemente del modelo operativo adoptado.

En segundo lugar, los sistemas considerados exitosos no se caracterizan por una distribución uniforme de la infraestructura sino por su capacidad de adaptarla a las características específicas de cada territorio. En Lisboa y Valencia, la heterogeneidad en la distribución de contenedores reflejada en coeficientes de variación de 0,76 y 0,68 respectivamente, frente al 0,35 de Montevideo no es un defecto sino la consecuencia directa de una lógica de asignación orientada a la demanda específica de cada zona.

Ambas observaciones sugieren que la asignación de infraestructura dentro del modelo actual de Montevideo podría beneficiarse de criterios de distribución más sensibles a la demanda territorial real, hipótesis que se examina en el apartado siguiente a través de un modelo de *balance demanda-capacidad.*

4.8 Aplicación de un modelo de *balance demanda–capacidad* para la redistribución de contenedores

A partir del análisis desarrollado en los apartados anteriores se identificaron distintos indicios que sugieren que la distribución actual de los contenedores en Montevideo podría no estar adecuadamente alineada con la demanda territorial del servicio de recolección. En particular, el análisis de correlación mostró que la cantidad de contenedores por municipio no presenta una relación significativa con variables asociadas a la generación potencial de residuos, como la densidad poblacional. A su vez, el estudio de contenedores críticos evidenció que algunos municipios presentan con mayor frecuencia situaciones de acumulación prolongada de residuos, mientras que el análisis de reclamos ciudadanos mostró que estas dificultades operativas también se reflejan en la experiencia cotidiana de los usuarios.

Estos resultados sugieren que el problema no se explica únicamente por la cantidad total de contenedores existentes en la ciudad, sino también por la forma en que dicha infraestructura se distribuye territorialmente. Con el objetivo de evaluar esta hipótesis de manera sistemática, se aplica un modelo de *balance demanda-capacidad* cuya especificación técnica se detalla en el apartado metodológico correspondiente. A continuación se presentan los resultados de su aplicación al caso de Montevideo.

4.8.1 Resultados del índice de riesgo de desborde

Una vez integradas las variables de demanda estimada de residuos, capacidad instalada de contenedores y frecuencia promedio de levante, se procedió a calcular el índice de riesgo de desborde para cada municipio de Montevideo. Este indicador expresa la relación entre la cantidad estimada de residuos generados durante el ciclo de recolección y la capacidad disponible del sistema de contenedores para absorber dichos residuos.

Tabla 8. *Índice de riesgo de desborde por municipio*

Municipio	Nº contenedores	Capacidad (ton)	Demanda (ton/día)	Días ciclo prom.	Demanda (ton/ciclo)	Capacidad ciclo (ton)	Índice de riesgo
A	1498	749	185,28	2,950	546,50	749	0,730
D	1506	753	152,08	3,238	492,46	753	0,654
CH	1166	583	147,57	2,368	349,40	583	0,599
E	1609	804,5	135,99	3,461	470,71	804,5	0,585
F	1519	759,5	153,89	2,780	427,80	759,5	0,563
G	1493	746,5	137,21	2,993	410,65	746,5	0,550
C	1661	830,5	133,10	3,059	407,12	830,5	0,490
B	1343	671,5	141,04	0,770	108,56	671,5	0,162

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

Los resultados muestran que el nivel de presión del sistema presenta variaciones entre los distintos municipios. El municipio A registra el valor más elevado del índice de riesgo de desborde (0,730), seguido por D (0,654) y CH (0,599). Estos valores indican que, en relación con la capacidad de contenedores disponible y la frecuencia de recolección, estos territorios presentan una mayor presión potencial sobre la infraestructura del sistema, generando en cada ciclo una demanda equivalente a entre el 60% y el 73% de su capacidad total de almacenamiento.

En un nivel intermedio se ubican los municipios E (0,585), F (0,563) y G (0,550), cuyos valores sugieren un equilibrio relativamente mayor entre la generación de residuos y la capacidad de almacenamiento disponible. Finalmente, el municipio C presenta un índice menor (0,490), mientras que el municipio B registra el valor más bajo del conjunto analizado (0,162), lo que indicaría una presión comparativamente menor sobre la capacidad del sistema.

Estos resultados sugieren que la relación entre demanda de residuos y capacidad de contenedores no se distribuye de manera homogénea entre los municipios. En particular, los municipios con valores más elevados del índice podrían enfrentar mayores probabilidades de saturación de contenedores dentro del ciclo de recolección, especialmente en contextos de variaciones temporales en la generación de residuos o retrasos en la operación del servicio.

En este sentido, el índice construido permite identificar territorios donde la infraestructura disponible podría resultar relativamente más ajustada a la demanda del servicio, proporcionando una base analítica para explorar posibles ajustes en la distribución del sistema de contenedores o en la frecuencia de recolección.

4.8.2 Validación del modelo matemático

En este apartado, se presenta la validación del modelo matemático propuesto, comparando los resultados obtenidos con los reclamos ciudadanos per cápita en cada municipio. Para realizar esta validación, se emplearon dos tipos de correlación: Pearson y Spearman, con el fin de evaluar la relación entre el índice de riesgo de desborde calculado por el modelo y los reclamos reportados por los ciudadanos.

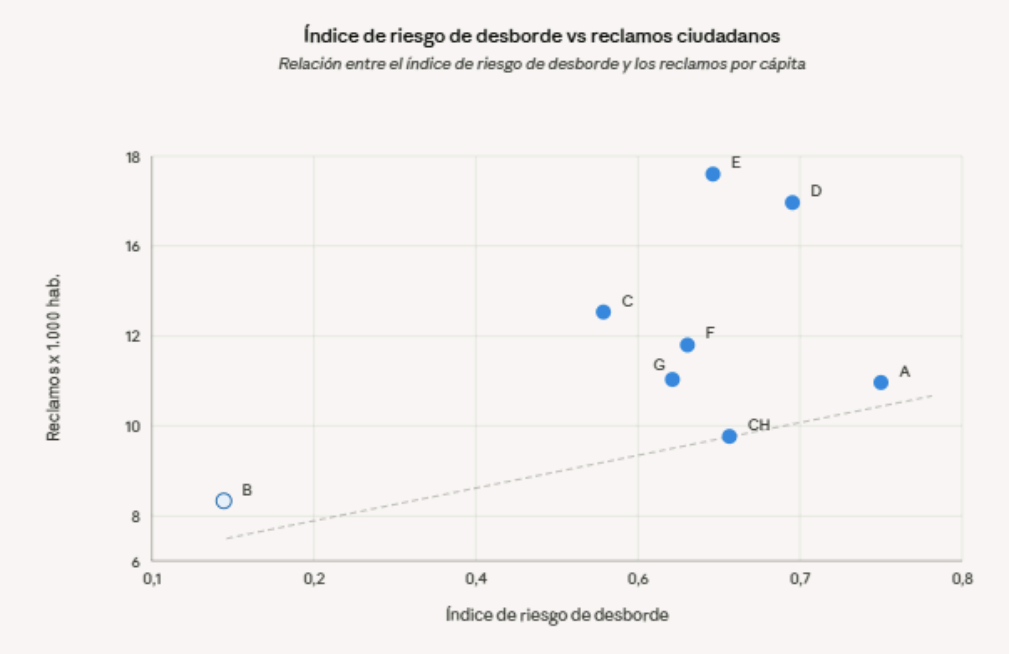
En cuanto a la correlación de Pearson, se obtuvo un valor de $r = 0{,}45$, con un p-valor de 0,26. Esto indica una relación positiva moderada entre el índice de riesgo y los reclamos: a mayor índice de riesgo de desborde, los reclamos tienden a ser más frecuentes. Sin embargo, este valor no es estadísticamente significativo, ya que el p-valor es superior a 0,05, lo cual es esperado dado que el análisis se realizó con una muestra reducida de solo 8 municipios, lo que limita la capacidad de detectar correlaciones fuertes.

Por otro lado, la correlación de Spearman arrojó un coeficiente $\rho = 0{,}10$, con un p-valor de 0,82. Este resultado sugiere que el orden exacto de los municipios en términos de reclamos no coincide perfectamente con el índice de riesgo de desborde. Esto implica que hay otros factores locales, como el perfil socioeconómico, el uso del sistema de reclamos y la centralidad de los municipios, que también influyen en la cantidad de reclamos presentados por los ciudadanos. Es importante destacar que los reclamos no responden únicamente a la presión operativa del sistema de recolección de residuos.

La ausencia de significancia estadística no invalida el modelo. Con una muestra de apenas ocho unidades — los municipios de Montevideo — ningún análisis de correlación tiene potencia suficiente para detectar relaciones moderadas con confianza estadística convencional. Lo relevante no es el p-valor sino la consistencia de la dirección del patrón: en seis de los ocho municipios, un índice de riesgo más elevado se corresponde con un mayor volumen de reclamos per cápita, lo que sugiere que el modelo captura una señal real aunque no pueda cuantificarla con precisión. En este sentido, el índice es útil como herramienta de priorización territorial antes que como instrumento de predicción estadística.

A continuación, se presenta una gráfica de dispersión que ilustra la relación entre el índice de riesgo de desborde y los reclamos per cápita.

Figura 19. *Relación entre el índice de riesgo de desborde y los reclamos ciudadanos por cápita*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo

En la gráfica se observa una tendencia positiva general, lo que indica que, en términos generales, a mayor riesgo de desborde, mayor es el número de reclamos. Sin embargo, también se nota cierta dispersión en los datos, lo que refleja la influencia de otros factores no contemplados por el modelo.

En particular, el municipio D se alinea bien con el patrón observado, mostrando un índice de riesgo elevado (0,654) y un nivel alto de reclamos (16,60 por cada 1.000 habitantes). Por el contrario, A y CH se presentan como casos atípicos: a pesar de registrar los índices de riesgo más elevados del sistema, sus niveles de reclamos por cápita son comparativamente bajos, con 11,27 y 9,70 respectivamente. En el caso de A, su baja densidad poblacional y su mayor extensión territorial podrían implicar una menor visibilidad del problema y un acceso más limitado a los canales de reclamo formal. CH, por su parte, presenta la mayor frecuencia de recolección del sistema, lo que podría compensar parcialmente la presión sobre la infraestructura y reducir la percepción de falla por parte de los usuarios. Ambos casos ilustran que el volumen de reclamos no depende exclusivamente de la presión operativa del sistema, sino también de factores territoriales y sociales que condicionan la propensión a reclamar.

En resumen, la validación con los reclamos ciudadanos muestra una relación positiva moderada entre el índice de riesgo y los problemas reportados por la ciudadanía. Aunque la correlación no sea estadísticamente significativa, el patrón observado apoya la capacidad del modelo para identificar territorios con mayor presión operativa. A pesar de los

factores que podrían influir en los reclamos, el modelo sigue siendo útil para priorizar áreas que requieren mayor atención en términos de infraestructura y frecuencia de recolección.

4.8.3 Síntesis del modelo de balance demanda–capacidad

El análisis realizado en este trabajo ha permitido obtener una visión integral sobre la infraestructura de contenedores en Montevideo, su distribución territorial, y cómo estas características impactan el sistema de recolección de residuos. Además, se ha validado el modelo matemático propuesto, comparando los resultados obtenidos con los reclamos ciudadanos en cada municipio. A continuación, se resumen los principales hallazgos obtenidos durante el análisis.

En primer lugar, se observó que la distribución de contenedores en Montevideo es relativamente homogénea entre los municipios, sin embargo, no está directamente alineada con la demanda real de residuos. Al comparar la cantidad de contenedores disponibles en municipios con alta densidad poblacional, como el municipio CH, se detectaron desajustes que sugieren que la infraestructura no responde de manera óptima a las necesidades de ciertos territorios, particularmente en áreas de alta concentración de población. Esta distribución homogénea podría responder a criterios administrativos o históricos de distribución de la infraestructura, pero no necesariamente a las diferencias en la generación de residuos entre los distintos sectores de la ciudad.

El análisis comparativo realizado con las ciudades de Lisboa y Valencia reveló diferencias significativas en la densidad de contenedores por habitante. Ambas ciudades muestran una mayor concentración de contenedores por habitante y por kilómetro cuadrado, lo que indica que sus sistemas de recolección están mejor adaptados a las necesidades locales. Este contraste pone de manifiesto que la infraestructura de Montevideo podría beneficiarse de una redistribución más orientada a las demandas específicas de cada municipio, especialmente aquellos con mayores índices de generación de residuos.

El modelo de *balance demanda–capacidad* fue validado mediante una comparación con los reclamos ciudadanos per cápita registrados en cada municipio. Los resultados mostraron una relación positiva moderada entre el índice de riesgo de desborde y los reclamos por cápita, aunque no estadísticamente significativa debido al tamaño reducido de la muestra. No obstante, los patrones observados son consistentes con la dirección esperada y refuerzan la capacidad del modelo para identificar territorios con mayor presión operativa.

4.9 Evidencia cualitativa: entrevista a actores del sistema

Las entrevistas realizadas a Mannise y Nopitsch permiten entender que en sistemas planificados en base a la demanda, tanto la frecuencia de recolección como la distribución de los contenedores se definen según la cantidad de residuos generados por zona,

diferenciando frecuencias y capacidades según las características de cada territorio. Este punto resulta especialmente relevante al contrastarlo con los resultados obtenidos para Montevideo, donde el análisis mostró que la distribución de contenedores no presenta una relación significativa con la densidad poblacional. Mannise[3] señala al respecto que en zonas de alta densidad corresponde aumentar la frecuencia o la cantidad de contenedores, lo que refuerza la idea de que una distribución homogénea entre municipios no es adecuada cuando las condiciones territoriales son heterogéneas. Esto es consistente con los valores del índice de riesgo de desborde, donde municipios como CH y A con alta densidad poblacional presentan niveles de presión elevados a pesar de contar con una cantidad de contenedores similar a la de municipios con menor concentración de población.

La entrevista con Nopitsch[4] aporta un elemento clave para interpretar la situación actual del sistema: la reducción progresiva del número de contenedores respecto al diseño original. Según el entrevistado, el sistema fue planificado con criterios técnicos claros y contaba inicialmente con una cantidad mayor de contenedores, que fue disminuyendo como consecuencia de problemas de gestión y falta de mantenimiento. Este proceso histórico ayuda a entender por qué algunos municipios presentan hoy niveles de presión elevados sobre la infraestructura: el déficit de capacidad no responde únicamente al diseño del sistema, sino también a cómo fue deteriorándose en el tiempo. En este sentido, los resultados del modelo de redistribución que estimó la necesidad de incorporar contenedores en municipios como A, D y CH son consistentes con un escenario de reducción acumulada de infraestructura que nunca fue compensada.

Nopitsch[5] también señala que parte de los problemas actuales se vinculan con deficiencias de gestión operativa, ilustradas por el bajo rendimiento por turno actualmente por debajo de los 100 levantes en comparación con los estándares originalmente previstos. Este dato es coherente con los valores de frecuencia promedio de levante observados en el análisis, que en varios municipios se ubican por debajo de los ciclos esperados, contribuyendo a incrementar la presión sobre el sistema: *"hay un problema claro de gestión, y no hay sistema en el mundo que pueda funcionar"* sin una administración adecuada de los recursos humanos y operativos.

Finalmente, ambas entrevistas destacan la brecha entre la tecnología disponible y su uso efectivo. Mannise[6] describe cómo en Ecotecno se utilizan herramientas de seguimiento

---

[3] de Arruabarrena y Ghizzo (28 de Febrero 2026). Entrevista realizada a Gabriel Mannise [Inédita]. Véase Anexo Entrevista Gabriel Mannise

[4] de Arruabarrena y Ghizzo (10 de Marzo 2026). Entrevista realizada a Fernando Nopitsch [Inédita]. Véase Anexo Entevista Fernando Nopitsch

[5] de Arruabarrena y Ghizzo (10 de Marzo 2026). Entrevista realizada a Fernando Nopitsch [Inédita]. Véase Anexo Entevista Fernando Nopitsch

[6] de Arruabarrena y Ghizzo (28 de Febrero 2026). Entrevista realizada a Gabriel Mannise [Inédita]. Véase Anexo Entrevista Gabriel Mannise

de rutas, índices de llenado por contenedor y control en tiempo real de la operación para realizar ajustes correctivos de manera sistemática. Nopitsch[7], por su parte, señala que la infraestructura tecnológica disponible en Montevideo no está siendo aprovechada en su totalidad. Esta dimensión complementa los hallazgos del análisis cuantitativo, particularmente en lo que refiere a la persistencia de desajustes entre la distribución de contenedores y la demanda real del servicio que, según la evidencia recogida, podrían corregirse con un uso más sistemático de la información disponible.

[7] de Arruabarrena y Ghizzo (10 de Marzo 2026). Entrevista realizada a Fernando Nopitsch [Inédita]. Véase Anexo Entevista Fernando Nopitsch

5. Conclusiones

5.1 Hallazgos empíricos

Esta investigación se propuso analizar la organización territorial del sistema de contenedores de Montevideo y evaluar en qué medida su distribución responde a la demanda potencial del servicio. Los resultados obtenidos permiten dar respuesta a cada uno de los objetivos planteados y construir un diagnóstico coherente sobre el funcionamiento del sistema.

El análisis reveló que la distribución de contenedores en Montevideo no presenta una correlación estadísticamente significativa con la densidad poblacional ni con la superficie de los municipios. Los valores de Pearson y Spearman obtenidos fueron bajos, y los p-values elevados impidieron afirmar la existencia de una relación clara entre infraestructura disponible y demanda potencial del servicio. Sin embargo, que no haya una relación estadística no significa que no se pueda identificar cuál es el criterio que sí se usa: la entrevista con Nopitsch[8] indica que el sistema se organizó en base a cobertura territorial. Como señaló el entrevistado, "vos lo que tenés que asegurar a la gente, que es lo que siempre dijimos, que no camines más de 100 metros". Es decir, la distribución responde a una lógica de accesibilidad espacial, no de demanda.

En el período analizado, las desigualdades territoriales en el desempeño del sistema resultaron marcadas. El municipio E registró un 38,84% de contenedores críticos, frente al 2,16% del municipio B. Los días promedio sin levantar superaron el umbral operativo de tres días en los municipios E, D y C, lo que indica que las demoras no son casos aislados sino parte del comportamiento habitual del sistema en esas zonas.

Los reclamos ciudadanos reforzaron este patrón. Los municipios con mayor proporción de contenedores críticos coincidieron con los que registraron mayor intensidad de reclamos por habitante y por contenedor. Esta convergencia entre indicadores operativos y percepción ciudadana aporta consistencia a los hallazgos del análisis.

El modelo de *balance demanda–capacidad* identificó a los municipios A, D y CH como los de mayor riesgo relativo de desborde, confirmando que la distribución actual de la infraestructura no se corresponde con la intensidad de la demanda territorial del servicio. Este resultado cierra el diagnóstico empírico y constituye el punto de partida para el análisis de alternativas de intervención que se desarrollarán en los apartados siguientes.

5.2 Interpretación del sistema de residuos

Los resultados sugieren que el sistema opera bajo una lógica de distribución relativamente uniforme entre municipios, independientemente de sus diferencias demográficas y territoriales. Esta homogeneidad responde a criterios administrativos

[8] de Arruabarrena y Ghizzo (10 de Marzo 2026). Entrevista realizada a Fernando Nopitsch [Inédita]. Véase Anexo Entevista Fernando Nopitsch

vinculados a la cobertura territorial del servicio, tal como señaló Nopitsch (2026)[9] en la entrevista realizada en el marco de esta investigación, pero no refleja adecuadamente la variabilidad en la generación de residuos entre zonas de la ciudad.

La comparación con Lisboa y Valencia ilustra este punto. Ambas ciudades presentan distribuciones más heterogéneas, con coeficientes de variación de 0,59 y 0,68, frente al 0,35 de Montevideo, y mayor densidad de contenedores por habitante. Esa heterogeneidad no es una deficiencia, sino una adaptación funcional a las necesidades locales de cada territorio.

En un contexto urbano con fuertes diferencias entre municipios, donde la densidad poblacional varía más de diez veces entre zonas como CH y A, una distribución homogénea de infraestructura genera desequilibrios reales en la calidad del servicio. Los datos muestran que esos desequilibrios no son marginales: afectan de manera sustancial tanto el desempeño operativo como la experiencia cotidiana de los ciudadanos.

Esta evidencia en conjunto sustenta que el sistema puede mejorar su desempeño sin necesidad de reformas estructurales profundas, a través de una redistribución de infraestructura guiada por criterios de demanda territorial. El modelo de *balance demanda–capacidad* desarrollado en este trabajo ofrece precisamente esa herramienta.

5.3 El modelo como instrumento de reducción del riesgo de desborde

El modelo de *balance demanda–capacidad* desarrollado en esta investigación no constituye únicamente un ejercicio diagnóstico: es una herramienta concreta para orientar decisiones de redistribución de infraestructura. Su lógica es simple pero poderosa — al expresar la relación entre residuos generados y capacidad de almacenamiento disponible en cada municipio, permite identificar con precisión dónde el sistema está más expuesto al desborde y, por lo tanto, dónde una intervención tendría mayor impacto.

Los resultados de las simulaciones realizadas indican que una redistribución de la infraestructura existente reduciría los desequilibrios actuales de manera significativa, priorizando los municipios con índices de riesgo más elevados. A su vez, la comparación entre alternativas de intervención mostró que la incorporación de contenedores resulta más eficiente que el aumento de la frecuencia de recolección para lograr una reducción equivalente del riesgo. Este hallazgo es consistente con la literatura especializada: Barrena et al. (2019) demostraron, mediante un modelo de optimización aplicado al centro histórico de Sevilla, que la redistribución y agrupación de puntos de depósito reduce los costos operativos del sistema de manera más eficiente que el incremento de la frecuencia de recolección, al permitir absorber mayores volúmenes de residuos sin una expansión proporcional de los circuitos operativos. Sin embargo, tanto la evidencia empírica del

[9] de Arruabarrena y Ghizzo (10 de Marzo 2026). Entrevista realizada a Fernando Nopitsch [Inédita]. Véase Anexo Entevista Fernando Nopitsch

análisis como los resultados del modelo sugieren que la redistribución de contenedores existentes, si bien necesaria, resulta insuficiente por sí sola: la incorporación neta de nueva infraestructura en los municipios con mayor presión relativa constituye la intervención de mayor impacto potencial sobre el sistema.

Esta conclusión tiene una implicancia directa para la gestión: mejorar el desempeño del sistema no requiere necesariamente reformas estructurales profundas ni incrementos significativos de gasto operativo, sino una reasignación más inteligente de los recursos disponibles combinada con una expansión selectiva y territorialmente focalizada de la infraestructura de almacenamiento. El plan de acción que se desarrolla en el capítulo siguiente operacionaliza esta lógica, traduciendo los resultados del modelo en intervenciones concretas, priorizadas y territorialmente diferenciadas.

5.4 Limitaciones y líneas futuras

A su vez, esta investigación abre un conjunto de preguntas que exceden su alcance y que merecen atención en trabajos futuros. En primer lugar, la incorporación de variables socioeconómicas al modelo — como el nivel de ingreso de los hogares o la tipología y densidad de viviendas — permitiría refinar las estimaciones de generación de residuos y mejorar la precisión territorial de las recomendaciones. En segundo lugar, la validación del modelo con datos de llenado real de contenedores, en lugar de estimaciones basadas en promedios municipales, constituye un avance significativo en su capacidad predictiva. Finalmente, extender el análisis a escala barrios— en lugar de municipio — abriría la posibilidad de diseñar intervenciones aún más precisas y operativamente viables.

Más allá del caso de Montevideo, este trabajo ilustra el potencial de los datos abiertos institucionales como insumo para el diagnóstico y la planificación de servicios urbanos. La integración sistemática de información sobre infraestructura, operaciones y percepción ciudadana permite identificar desajustes que no son visibles desde una lectura operativa tradicional, y construir evidencia territorial sólida para orientar decisiones de política urbana. En ese sentido, la metodología desarrollada en esta investigación es transferible a otros sistemas de gestión de residuos que enfrenten desafíos similares de distribución desigual de infraestructura en contextos urbanos heterogéneos.

6. Plan de acción

A partir de los hallazgos del análisis, este capítulo propone un conjunto de intervenciones orientadas a reducir los desequilibrios territoriales identificados en el sistema de contenedores de Montevideo. El punto de partida son las simulaciones desarrolladas a partir del modelo de *balance demanda–capacidad*, cuyos resultados permiten comparar distintas alternativas de intervención en términos de impacto, costo y carga operativa. A partir de esas simulaciones se derivan cuatro ejes de acción con horizontes temporales diferenciados, que se presentan al final del capítulo junto con un cronograma de implementación.

6.1 Situación de partida

Antes de desarrollar las simulaciones y los ejes, conviene sintetizar los indicadores que definen el punto de partida del sistema. Son estos valores los que dan sentido a las metas propuestas y permiten evaluar el avance de cada intervención.



Tabla 9. *Situación de partida por municipio*

Municipio	Contenedores	Índice riesgo	Cont. críticos (%)	Días prom. sin levantar	Reclamos / 1.000 hab.
A	1.498	0,730	10,17%	2,95	11,27
D	1.506	0,654	18,50%	3,24	16,60
CH	1.166	0,599	11,87%	2,37	9,70
E	1.609	0,585	38,84%	3,46	17,48
F	1.519	0,563	22,23%	2,78	12,38
G	1.493	0,550	30,16%	2,99	11,38
C	1.661	0,490	21,68%	3,06	13,35
B	1.343	0,162	2,16%	0,77	7,80

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo.

6.2 Simulación de escenarios de intervención

Una vez calculado el índice de riesgo de desborde para cada municipio, el modelo permite avanzar desde una etapa diagnóstica hacia la exploración de posibles ajustes en la organización del sistema de contenedores. A partir de este indicador se desarrollaron tres simulaciones que evalúan cómo podrían modificarse los niveles de presión del sistema bajo distintos escenarios de intervención.

6.2.1 Redistribución teórica manteniendo infraestructura existente

El primer escenario evalúa si parte de los desequilibrios puede resolverse redistribuyendo los contenedores actuales sin incorporar nueva infraestructura. El modelo estima una distribución teórica proporcional a la demanda de cada municipio, usando un coeficiente objetivo que homogeneiza la presión relativa del sistema (R_obj = 0,545).

Tabla 10. *Redistribución teórica de contenedores según demanda*

Municipio	Cont. actuales	Cont. necesarios	Δ Contenedores	Capacidad (ton)	Demanda (ton/ciclo)	Índice riesgo original	Índice riesgo nuevo
A	1.498	2.006	+508	749	546,50	0,730	0,545
D	1.506	1.808	+302	753	492,46	0,654	0,545
E	1.609	1.728	+119	804,5	470,71	0,585	0,545
CH	1.166	1.283	+117	583	349,40	0,599	0,545
F	1.519	1.570	+51	759,5	427,80	0,563	0,545
G	1.493	1.507	+14	746,5	410,65	0,550	0,545
C	1.661	1.494	−167	830,5	407,12	0,490	0,545
B	1.343	399	−944	671,5	108,56	0,162	0,544

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo y cálculos del modelo.

La reducción teórica en B (−944 unidades) ilustra la magnitud del desequilibrio actual pero no constituye una propuesta de implementación directa: una extracción de esa escala requiere validación operativa y gradualidad. El escenario funciona principalmente como diagnóstico de la sobredotación relativa de ese municipio.

6.2.2 Escenario de expansión de infraestructura

El segundo escenario estima cuántos contenedores adicionales serían necesarios para reducir el índice de riesgo de desborde en un 20% respecto del valor actual, sin redistribuir los existentes. El nuevo índice objetivo es R* = 0,80 × 0,545 = 0,436.

Tabla 11. *Contenedores necesarios para reducir el riesgo en un 20%*

Municipio	Cont. actuales	Cont. necesarios	Δ Contenedores	Capacidad nueva (ton)	Demanda (ton/ciclo)	Índice riesgo original	Índice riesgo nuevo
A	1.498	2.508	+1.010	1.254	546,50	0,730	0,436
D	1.506	2.260	+754	1.130	492,46	0,654	0,436
E	1.609	2.160	+551	1.080	470,71	0,585	0,436
CH	1.166	1.603	+437	801,5	349,40	0,599	0,436
F	1.519	1.963	+444	981,5	427,80	0,563	0,436
G	1.493	1.884	+391	942	410,65	0,550	0,436
C	1.661	1.868	+207	934	407,12	0,490	0,436
B	1.343	498	−845	249	108,56	0,162	0,436

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo y cálculos del modelo.

6.2.3 Escenario de aumento de frecuencia de recolección

El tercer escenario estima cuántos días debería durar el ciclo de recolección en cada municipio para alcanzar el mismo nivel objetivo de riesgo (R* = 0,436), manteniendo constante la infraestructura actual.

Tabla 12. *Días de ciclo necesarios para reducir el riesgo en un 20%*

Municipio	Días ciclo prom.	Días ciclo necesarios	Δ Días ciclo	Levantes extra por ciclo	Índice riesgo original
A	2,950	1,762	−1,188	+0,674	0,730
D	3,238	2,158	−1,080	+0,500	0,654
E	3,461	2,579	−0,882	+0,342	0,585
CH	2,368	1,722	−0,646	+0,375	0,599
F	2,780	2,151	−0,629	+0,292	0,563
G	2,993	2,371	−0,621	+0,262	0,550
C	3,059	2,720	−0,339	+0,125	0,490
B	0,770	2,075	+1,306	−0,629	0,162

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo y cálculos del modelo.

6.2.4 Comparación económica y logística de alternativas

La comparación entre los escenarios de expansión y aumento de frecuencia muestra diferencias tanto en costo como en carga operativa para lograr la misma reducción del 20% en el índice de riesgo.

Tabla 13. *Comparación de alternativas*

USD 4,1M	**USD 4,8M**	**18 h/día**	**42 h/día**
+ Contenedores(inversión única)	+ Frecuencia(costo anual recurrente)	Carga extra(escenario contenedores)	Carga extra(escenario frecuencia)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos abiertos.

La expansión de infraestructura requiere una inversión inicial mayor, pero genera un costo recurrente nulo, mientras que el aumento de frecuencia implica más del doble de la carga operativa diaria para el mismo resultado. Esta diferencia posiciona la expansión selectiva como la alternativa más eficiente en términos económicos y logísticos, en línea con los resultados de Barrena et al. (2019) para el caso de Sevilla.

Contexto comparativo: Montevideo opera actualmente con 8,5 contenedores por cada 1.000 habitantes. Lisboa tiene 44,6 y Valencia 12,0. Alcanzar el estándar de Valencia requeriría incorporar aproximadamente 3.300 contenedores adicionales al sistema, cifra consistente con la suma de los déficits estimados en la Tabla 11.

Los supuestos operativos que fundamentan estos cálculos, tiempo por levante, eficiencia del turno, factor de ruta y frecuencia promedio ponderada se detallan en el Anexo 5.

6.3 Ejes de intervención

A partir de los resultados de las simulaciones, se proponen cuatro ejes de acción con horizontes temporales diferenciados. Los Ejes 1 y 2 actúan directamente sobre la infraestructura; el Eje 3 garantiza que esas intervenciones puedan evaluarse en el tiempo; el Eje 4 establece las condiciones para aumentar la precisión del modelo en el futuro.

6.3.1 Eje 1 — Redistribución de infraestructura existente (corto plazo, 0–12 meses)

Este eje integra dos diagnósticos complementarios que emergen del análisis: el índice de riesgo de desborde, que identifica a los municipios A, D y CH como los de mayor presión estructural entre demanda y capacidad, y el análisis de contenedores críticos, que señala a E, D y C como los territorios con mayor proporción de fallos operativos actuales. Ambos diagnósticos miden dimensiones distintas del mismo problema: el primero refleja una insuficiencia estructural de infraestructura en relación con la demanda potencial, mientras que el segundo evidencia dónde esa insuficiencia ya se traduce en fallas concretas del servicio. El municipio D aparece en ambos diagnósticos, lo que lo posiciona como la intervención más urgente del sistema.

Punto de partida: municipio B con índice de riesgo 0,162 y sobredotación relativa estimada de −944 contenedores respecto al equilibrio teórico. Municipios receptores: A (déficit estimado +508), D (+302), CH (+117) y E (+119).

En una primera etapa se propone realizar un diagnóstico detallado a nivel de circuito en los municipios E, D y C, con el objetivo de identificar los puntos de mayor presión operativa dentro de cada territorio. A partir de ese diagnóstico se elaboraría un protocolo de reasignación que contemple el traslado progresivo de unidades desde el municipio B hacia los municipios A, D y CH. La reasignación debería implementarse de forma gradual, priorizando los circuitos con mayor proporción de contenedores críticos, con el fin de minimizar disrupciones operativas.

Metas de evaluación: reducción de la proporción de contenedores críticos en E (desde 38,84%), D (desde 18,50%) y C (desde 21,68%); reducción del promedio de días sin levantar en D (desde 3,24 días) y E (desde 3,46 días); y disminución de los reclamos por habitante en E (desde 17,48/1.000 hab.) y D (desde 16,60/1.000 hab.).

6.3.2 Eje 2 — Expansión selectiva de infraestructura (mediano plazo, 12–36 meses)

La redistribución interna de contenedores existentes, si bien necesaria, resulta insuficiente por sí sola para resolver los desequilibrios estructurales del sistema. La magnitud de los déficits identificados en varios municipios requiere la incorporación neta de nueva infraestructura, focalizada en los territorios con mayor presión relativa según el índice de riesgo de desborde.

La comparación económica entre alternativas refuerza esta conclusión. Alcanzar una reducción del 20% en el índice de riesgo mediante expansión de infraestructura implica una

inversión única estimada en USD 4,1 millones (Todo Contenedores, s.f.), frente a un costo operativo recurrente de USD 4,8 millones anuales en el escenario de aumento de frecuencia de recolección (BID, 2015; INE, 2023). Desde el punto de vista logístico, la diferencia es aún más marcada: el escenario de frecuencia requiere más del doble de la carga operativa diaria —42 horas equivalentes frente a 18— para lograr el mismo nivel de mejora.

Intervenciones prioritarias: municipio A (~1.010 contenedores adicionales, índice de riesgo actual 0,730), D (~754, índice 0,654) y E (~551, índice 0,585). La distribución de la nueva infraestructura debería regirse por criterios de densidad poblacional, en contraposición a esquemas homogéneos, en línea con el patrón observado en Lisboa (CV = 0,59) y Valencia (CV = 0,68), frente al CV = 0,35 actual de Montevideo.

Referencia comparativa: alcanzar la cobertura de Valencia (12,0 contenedores/1.000 hab.) desde el nivel actual de Montevideo (8,5/1.000 hab.) requeriría incorporar aproximadamente 3.300 contenedores adicionales al sistema, a un costo estimado de USD 3,6 millones al precio de referencia internacional de USD 1.080 por unidad.

Metas de evaluación: reducción del índice de riesgo de desborde en los municipios intervenidos (objetivo: $R^* \leq 0,436$ en todos los municipios); aumento de la relación contenedores/densidad poblacional hacia una correlación positiva estadísticamente significativa (actualmente Pearson = −0,604, no significativo).

6.3.3 Eje 3 — Mejora del sistema de monitoreo y datos (transversal)

Este eje responde a una limitación identificada a lo largo de toda la investigación: la ausencia de datos directos sobre generación de residuos a nivel territorial obligó a trabajar con proxies demográficos, lo que introduce un margen de imprecisión en el modelo. Reducir esa brecha de información es condición necesaria para que los ejes anteriores puedan evaluarse y ajustarse con rigor en el tiempo.

Acción 1 — Revisión semestral del índice de riesgo de desborde: incorporando datos actualizados de población y operación del sistema, con el objetivo de detectar nuevos desajustes antes de que se expresen en fallas operativas. El índice calculado en esta investigación constituye la línea de base: A = 0,730, D = 0,654, CH = 0,599. Cada revisión debería comparar los nuevos valores con esa referencia y con los objetivos de los Ejes 1 y 2.

Acción 2 — Seguimiento sistemático de los tres indicadores construidos en esta investigación: proporción de contenedores críticos por municipio, frecuencia efectiva de recolección y reclamos vinculados al servicio normalizados por población. Estos indicadores deberían integrarse como insumo permanente para la planificación operativa de la Intendencia, en lugar de ser calculados de manera puntual. Su evolución en el tiempo permitirá evaluar el impacto de las intervenciones de los Ejes 1 y 2 y fundamentar decisiones de ajuste.

Acción 3 — Cruce sistemático entre registros operativos y reclamos del SUR. Construirla permitiría identificar con mayor precisión qué parte de los fallos operativos se traduce en percepción ciudadana negativa y en qué territorios esa brecha es mayor. El análisis mostró que la correlación entre contenedores críticos y reclamos por habitante es positiva y significativa (Pearson = 0,736, p = 0,037), lo que sugiere que el cruce operativo-ciudadano tiene potencia diagnóstica real.

6.3.4 Eje 4 — Líneas de desarrollo futuro (prospectivo, +24 meses)

Este eje no propone intervenciones inmediatas sino que identifica las condiciones que permitirían aumentar la precisión y el alcance del modelo desarrollado en esta investigación, con el objetivo de orientar inversiones futuras en información y tecnología.

Línea 1 — Sensores de llenado en contenedores (piloto): esta tecnología, ya utilizada en sistemas de gestión de residuos de referencia internacional, permite reemplazar las estimaciones basadas en promedios demográficos por datos reales de generación de residuos con resolución temporal alta. Su implementación permitiría calcular el índice de riesgo de desborde con datos observados en lugar de estimados, aumentando significativamente la capacidad predictiva del modelo. Se propone explorar esta alternativa en una primera etapa piloto en los tres municipios identificados como críticos —A, D y CH— que concentran los índices de riesgo más elevados (0,730, 0,654 y 0,599 respectivamente) y donde el impacto diagnóstico sería mayor.

Línea 2 — Desagregación territorial a escala de barrio o circuito: el análisis presentado en este trabajo opera a nivel municipal por disponibilidad de datos demográficos, pero los desequilibrios reales se expresan a escalas más finas. El sistema cuenta con 135 circuitos de recolección cuya carga operativa varía entre 22 y 174 contenedores, una variabilidad que el modelo municipal no puede capturar. Contar con información censal desagregada a nivel de segmento o con estimaciones de generación de residuos por tipo de vivienda permitiría identificar puntos críticos dentro de cada municipio y diseñar intervenciones aún más precisas.

Los resultados obtenidos sugieren que una mejora del sistema no debería basarse en una lógica uniforme de gestión para toda la ciudad, sino en la implementación de esquemas diferenciados según la presión de demanda sobre la infraestructura. En particular, zonas con mayor generación potencial de residuos, asociadas a mayores niveles de densidad poblacional, requerirían configuraciones de mayor capacidad o frecuencia de recolección, mientras que áreas con menor presión podrían operar bajo esquemas distintos. Este enfoque permite avanzar hacia un sistema más alineado con la demanda territorial, en contraposición a la lógica homogénea actualmente observada.

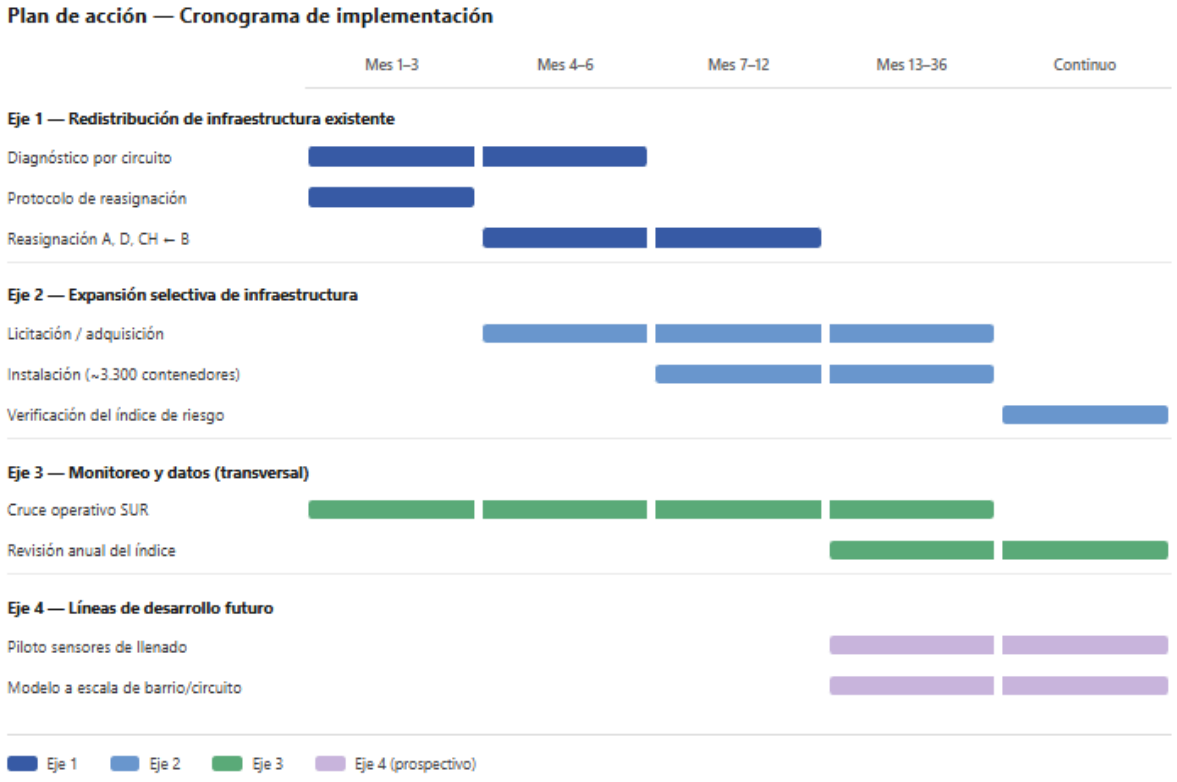
Línea 3 — Incorporación de variables socioeconómicas: el análisis mostró que el volumen de reclamos no responde al tamaño demográfico de los municipios (Pearson =

−0,125, p = 0,789) sino a cómo funciona el sistema en cada territorio. Sin embargo, factores como el nivel de ingreso de los hogares, la densidad de comercios o la composición de los residuos podrían explicar parte de la variabilidad no capturada por el modelo actual. Su incorporación en versiones futuras permitiría refinar las estimaciones de demanda y mejorar la focalización de las intervenciones.

6.4 Cronograma de implementación

La implementación articulada de estos cuatro ejes busca producir un cambio estructural en la lógica de gestión del sistema: avanzar desde una distribución homogénea de infraestructura hacia un modelo sensible a la demanda territorial real. Los Ejes 1 y 2 actúan sobre la infraestructura con horizontes temporales diferenciados según la complejidad de cada intervención. El Eje 3 garantiza que esas intervenciones puedan evaluarse y ajustarse con información sólida. El Eje 4 establece las condiciones para que el modelo desarrollado en esta investigación gane precisión y alcance en el tiempo. La Figura 20 presenta el cronograma de implementación previsto para el conjunto del plan.

Figura 20. *Cronograma de implementación del plan de acción*



Fuente: Elaboración propia.

7 Referencias

Ajuntament de València. (s. f.). *Gestión inteligente de residuos sólidos.* https://www.valencia.es/es/web/smartcity

Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situación-de-la-gestión-de-residuos-sólidos-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf

Barrena, E. V., Canca, D., Ortega, F. A., & Piedra-de-la-Cuadra, R. (2019). *Optimizing container location for selective collection of urban solid waste*. WIT Press. https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/WM18/WM18001FU1.pdf

Bioazul. (2018, 10 de julio). *Lisboa es galardonada como Capital Verde Europea 2020.* https://www.bioazul.com/lisboa-capital-verde-europea-2020/

CEMPRE Uruguay. (s. f.). *ADEOM advierte sobre eventual conflicto en recolección de residuos.* https://cempre.org.uy/adeom-advierte-sobre-eventual-conflicto-en-recoleccion-de-residuos/

CEMPRE Uruguay. (s. f.). *Conflicto de ADEOM afecta la recolección de basura.* https://cempre.org.uy/conflicto-de-adeom-afecta-la-recoleccion-de-basura/

El Observador. (2026, 7 de marzo). *Contenedores desbordados en Montevideo: los barrios más complicados, los cinco paros de Adeom y un futuro cercano poco auspicioso.* https://www.elobservador.com.uy/contenedores-desbordados-montevideo-los-barrios-mas-complicados-los-cinco-paros-adeom-y-un-futuro-cercano-poco-auspicioso-n6037093

El País. (2025). *IMM recibió 178.000 reclamos de montevideanos entre enero de 2024 a julio de 2025; 61.000 fueron por limpieza.* https://www.elpais.com.uy/informacion/sociedad/imm-recibio-178-000-reclamos-de-montevideanos-entre-enero-de-2024-a-julio-de-2025-61-000-fueron-por-limpieza

Instituto Nacional de Estadística. (2024). *Anuario estadístico nacional 2024: Medio ambiente. Gobierno de Uruguay.* https://www.ine.gub.uy/

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Contenedor lleno o residuos fuera de él.* https://tramites.montevideo.gub.uy/

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Estado de los contenedores.* https://tramites.montevideo.gub.uy/tramite/estado-de-los-contenedores

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Sistema único de respuesta*. https://montevidata.montevideo.gub.uy/ambiental/sistema-unico-de-respuesta

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Contenedores domiciliarios.* Datos abiertos. https://catalogodatos.gub.uy/

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Circuitos de recolección.* Datos abiertos. https://catalogodatos.gub.uy/

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Levantes de contenedores*. Datos abiertos. https://catalogodatos.gub.uy/

Intendencia de Montevideo. (s. f.). *Reclamos registrados en el Sistema Único de Respuesta.* Datos abiertos. https://catalogodatos.gub.uy/dataset/reclamos-registrados-en-el-sistema-unico-de-reclamos-de-la-intendencia-de-montevideo

International Journal of Scientific Engineering and Applied Science. (2016). *Municipal solid waste management in urban areas: Challenges and impact on public health*. https://www.ijsea.com/archive/volume6/issue2/IJSEA06021002.pdf

Montevideo Portal. (2024). *Adeom apuntó contra recortes en la IM y asegura que la limpieza es de lo que más se nota.* https://www.montevideo.com.uy/Noticias/Adeom-apunto-contra-recortes-en-la-IM-y-asegura-que-la-limpieza-es-de-lo-que-mas-se-nota--uc942117

Rossit, D. G., & Nesmachnow, S. (2022). *Waste bins location problem: A review of recent*

advances in the storage stage of the municipal solid waste reverse logistic chain. arXiv. https://arxiv.org/abs/2202.13754

Subrayado. (2013). *Polémica por los costos de la recolección de basura en Montevideo.* https://www.subrayado.com.uy/polemica-costos-recoleccion-basura-montevideo-n11119

Teledoce. (2022). *Adeom levantó el conflicto en el sector limpieza luego de firmar un acuerdo con la Intendencia de Montevideo.* https://www.teledoce.com/telemundo/nacionales/adeom-levanto-el-conflicto-en-el-sector-limpieza-luego-de-firmar-un-acuerdo-con-la-intendencia-de-montevideo/

Todo Contenedores. (s. f.). *Contenedor de residuos de carga lateral 3200 litros.* https://www.todocontenedores.com/producto/contenedor-de-residuos-de-carga-lateral-3200-litros.html

United Nations Environment Programme. (2015). *Global waste management outlook.* https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook

World Bank. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank.* https://openknowledge.worldbank.org/

8. Anexos

Anexo 1. Declaración de objeto del trabajo y uso de elementos de terceros

Elemento	Ubicación	Titular de la propiedad intelectual	Permiso de uso
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Contenedores domiciliarios (https://catalogodatos.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Circuitos de recolección (https://catalogodatos.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Levantes de contenedores (https://catalogodatos.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Intendencia de Montevideo: Reclamos SUR (https://catalogodatos.gub.uy/dataset/reclamos-registrados-en-el-sistema-unico-de-reclamos-de-la-intendencia-de-montevideo)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Intendencia de Montevideo	Datos abiertos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Instituto Nacional de Estadística: Población por municipio (https://www.ine.gub.uy/)	Sección 3.2 y Anexo 1 (uso transversal como insumo del análisis)	Instituto Nacional de Estadística	Datos públicos – uso libre con fines académicos
Base de datos – Câmara Municipal de Lisboa: Contenedores (LIXO) (https://dados.gov.pt/)	Sección 3.3 y Anexo 1 (uso transversal en análisis comparativo)	Câmara Municipal de Lisboa	Datos abiertos
Base de datos – Ayuntamiento de Valencia: Contenedores (https://datos.gob.es/)	Sección 3.3 y Anexo 1 (uso transversal en análisis comparativo)	Ayuntamiento de Valencia	Datos abiertos

Documento – UNEP: Global Waste Management Outlook (https://www.unep.org/resources/report/global-waste-management-outlook)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del análisis	United Nations Environment Programme	Acceso abierto
Documento – World Bank: What a Waste 2.0 (https://openknowledge.worldbank.org/)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del análisis	World Bank	Acceso abierto
Documento – BID: Gestión de residuos en América Latina (https://publications.iadb.org/)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del análisis	Banco Interamericano de Desarrollo	Acceso abierto
Artículo – Rossit & Nesmachnow: Waste Bins Location Problem (https://arxiv.org/abs/2202.13754)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del modelo	Autores	Acceso abierto
Artículo – Barrena et al.: Optimizing container location (https://www.witpress.com/)	Sección 2 (marco teórico) y desarrollo del modelo	WIT Press	Uso académico
Artículo – IJSEAS: Municipal solid waste management (https://www.ijsea.com/)	Sección 2 (marco teórico)	IJSEAS	Acceso abierto
Artículo – Wilson & Kelling: Broken windows	Sección 2 (marco teórico)	Autores	Uso académico (cita)
Página web – Encyclopaedia Britannica: Broken windows theory (https://www.britannica.com/topic/broken-windows-theory)	Sección 2 (marco teórico)	Encyclopaedia Britannica	Uso informativo

Anexo 2. Descripción de bases de datos

En este anexo se presenta el detalle de las principales bases de datos utilizadas en el desarrollo de la investigación, incluyendo su origen, estructura general y rol dentro del análisis.

Las bases de datos utilizadas fueron sometidas a procesos de limpieza, estandarización y transformación con el objetivo de garantizar su comparabilidad y consistencia analítica. Estos procesos incluyeron la eliminación de registros incompletos, la normalización de variables y la conversión de coordenadas geográficas a formatos utilizables para el análisis espacial.

Asimismo, se realizaron procesos de integración entre *datasets*, particularmente en el caso de Montevideo, donde se vincularon las bases de contenedores, circuitos, levantes y reclamos a partir de variables comunes y coordenadas geográficas.

Anexo 2.1 Bases de datos principales

Base de datos	Fuente	Variables principales	Uso en el análisis
Contenedores Montevideo	Intendencia de Montevideo (datos abiertos)	GID, latitud, longitud, COD_CIRCUITO	Análisis de la distribución territorial de la infraestructura
Circuitos de recolección	Intendencia de Montevideo (datos abiertos)	COD_CIRCUITO, recorridos, identificadores	Análisis de la organización operativa del sistema
Levantes de contenedores	Intendencia de Montevideo (datos abiertos)	Fecha, ubicación, registro de recolección	Cálculo de frecuencia de recolección y contenedores críticos
Reclamos (SUR)	Intendencia de Montevideo (datos abiertos)	DESC_TIPOPROBLEMA, latitud, longitud	Análisis de percepción ciudadana y validación de desempeño
Población por municipio	Elaboración propia a partir de datos censales	Municipio, población	Estimación de la demanda potencial del sistema

Anexo 2.1.1 Contenedores Montevideo

La base de datos de contenedores domiciliarios de Montevideo fue obtenida a partir del portal de datos abiertos de la Intendencia de Montevideo. Contiene información georreferenciada sobre la localización de los contenedores instalados en la vía pública, incluyendo identificadores únicos (GID), coordenadas geográficas (latitud y longitud) y su asociación a circuitos de recolección (COD_CIRCUITO).

Esta base constituye el insumo principal del análisis, ya que permite estudiar la distribución territorial de la infraestructura de almacenamiento dentro de la ciudad.

Anexo 2.1.2 Circuitos de recolección

La base de circuitos de recolección contiene información sobre la organización operativa del sistema, incluyendo los recorridos realizados por los camiones recolectores y la identificación de los circuitos asociados a los contenedores.

Esta información permite analizar cómo se estructura la operación del sistema y cómo se agrupan los contenedores desde el punto de vista operativo.

Anexo 2.1.3 Levantes de contenedores

La base de levantes contiene registros operativos asociados a la recolección de residuos, incluyendo información sobre fechas de recolección y localización de los contenedores.

A partir de esta base se reconstruyó la frecuencia de recolección y se identificaron situaciones en las que los contenedores permanecen varios días sin ser vaciados, lo que permitió construir el indicador de contenedores críticos.

Anexo 2.1.4 Reclamos (SUR)

La base de reclamos del Sistema Único de Respuesta (SUR) contiene registros de incidencias reportadas por la ciudadanía en relación con distintos servicios municipales.

Para el análisis, se filtraron aquellos reclamos vinculados específicamente al sistema de contenedores, utilizando la variable DESC_TIPOPROBLEMA. Esta información permite incorporar la percepción de los usuarios sobre el funcionamiento del sistema y complementar el análisis operativo.

Anexo 2.1.5 Población por municipio

La base de población fue elaborada por los autores a partir de información censal, con el objetivo de contar con una estimación de la cantidad de habitantes por municipio.

Esta variable fue utilizada como proxy de la demanda potencial del sistema, permitiendo analizar la relación entre la infraestructura disponible y la presión ejercida por la población.

Anexo 2.2 Bases de datos complementarias

Base de datos	Fuente	Variables principales	Uso en el análisis
Contenedores Lisboa	Portal de datos abiertos de Lisboa	Localización, circuito, capacidad, tipo	Comparación internacional de distribución territorial
Contenedores Valencia	Portal de datos abiertos de Valencia	Localización, distrito, tipo de contenedor	Comparación territorial y patrones de concentración

Anexo 2.2.1 Contenedores Lisboa

La base de datos de Lisboa fue obtenida a partir de su portal de datos abiertos y contiene información sobre la localización geográfica de los contenedores, su capacidad y su asociación a circuitos de recolección.

Dado que el objetivo del análisis es comparar contenedores equivalentes a los utilizados para residuos domiciliarios en Montevideo, se filtraron únicamente aquellos registros clasificados como “lixo”, correspondientes a residuos urbanos generales. De esta forma, se busca aproximar lo más posible las categorías de infraestructura analizadas en cada ciudad.

Este procesamiento permitió construir indicadores comparables con el caso de Montevideo en el marco del análisis internacional.

Anexo 2.2.2 Contenedores Valencia

La base de datos de Valencia contiene información sobre la localización de contenedores a nivel territorial, incluyendo variables como distrito, barrio y coordenadas geográficas.

A diferencia del caso de Lisboa, esta base no incluye información sobre circuitos operativos. Sin embargo, su estructura permite analizar la distribución espacial de la infraestructura y construir indicadores comparables con las otras ciudades analizadas.

Anexo 3. Scripts

El código utilizado para el procesamiento y análisis de datos se encuentra disponible en los siguientes notebooks de Google Colab:

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Comparación de contenedores entre ciudades, mapas de distribución territorial y cruce de reclamos* [Google Colab]. SPRINT6

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Asignación de contenedores a municipios y barrios, análisis de densidad poblacional e indicadores territoriales* [Google Colab]. SPRINT 7

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Comparación de capacidad potencial vs extensión del sistema, correlaciones territoriales y análisis de circuitos por municipio* [Google Colab].

SPRINT 7.1

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Análisis estructural de circuitos de recolección y correlación entre estado de contenedores y reclamos ciudadanos* [Google Colab].

SPRINT8

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Análisis de reclamos por densidad poblacional y municipio* [Google Colab].

SPRINT 8.1

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Construcción del índice de riesgo de desborde, simulación de escenarios de redistribución y comparación económica y logística de alternativas* [Google Colab].

MODELO MATEMATICO

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Georreferenciación y asignación de contenedores a barrios de Montevideo* [Google Colab].

contenedores por barrio

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Crea Mapas 2.ipynb* [Google Colab].

Crea Mapas 2.ipynb

de Arruabarrena, M., & Ghizzo, L. (2026). *Modelo Matemático con capacidades actualizadas* [Google Colab].

Modelo Matematico con capacidades actualizadas

Anexo 4. Transcripciones de entrevistas

Las entrevistas realizadas en el marco de esta investigación fueron transcritas y se encuentran disponibles en los siguientes enlaces:

- Mannise, G. (2026, 28 de febrero). *Entrevista sobre gestión de residuos y sistemas de recolección* [Inédita]. Entrevistadores: M. De Arruabarrena y L. Ghizzo. https://docs.google.com/document/d/1DOiJS6y9xhvgnxezNWxbsa_mqOyG-hkuGFK9CSOxRnY/edit
- Nopitsch, F. (2026, 10 de marzo). *Entrevista sobre gestión municipal de contenedores en Montevideo* [Inédita]. Entrevistadores: M. De Arruabarrena y L. Ghizzo. https://docs.google.com/document/d/1oEFfyqOOz9fWfn8xtd-uKKrLh5SNtTD7-UWWNZ4ATGE/edit

Anexo 5. Supuestos del modelo logístico

Este anexo documenta los valores y supuestos utilizados para calcular la carga operativa adicional asociada a los escenarios de expansión de infraestructura y aumento de frecuencia de recolección presentados en la sección 6.1.5. Su inclusión responde a la necesidad de garantizar la transparencia y replicabilidad de los cálculos, dado que los resultados en horas y camiones equivalentes dependen directamente de estos parámetros.

Tiempo por levante (t_stop = 60 segundos)

Se adoptó un tiempo promedio de 60 segundos por levante, consistente con estimaciones operativas típicas para camiones de carga lateral documentadas en la literatura sobre sistemas de recolección urbana. Este valor representa el tiempo total de detención del camión por contenedor, incluyendo frenado, elevación mecánica, descarga y reanudación de marcha. Se realizó un análisis de sensibilidad con valores de 30 y 90 segundos, que modifica los resultados en términos absolutos pero no altera la conclusión comparativa: el escenario de frecuencia sigue requiriendo más del doble de carga operativa que el de expansión de infraestructura en todos los casos.

Turno operativo y eficiencia (8 h/día, eficiencia 70%)

Se asumió un turno de 8 horas diarias por camión, con una eficiencia operativa del 70%, lo que equivale a aproximadamente 5,6 horas útiles de recolección efectiva por turno. El 30% restante corresponde a traslados hacia y desde el punto de inicio del circuito, tiempos de carga del vehículo y pausas operativas. Este nivel de eficiencia es conservador respecto a sistemas optimizados pero razonable para el contexto operativo de Montevideo, donde el análisis de circuitos evidenció una carga promedio de levantes por turno inferior a los estándares originalmente previstos por el sistema.

Factor de ruta (2,5)

El tiempo total de operación de un camión no se limita al tiempo de levante de contenedores: incluye también el desplazamiento entre puntos de recolección. Se adoptó un factor de ruta de 2,5, lo que implica que el tiempo total de operación es aproximadamente 2,5 veces el tiempo puro de levantes. Este factor contempla la densidad de la red vial, la

distribución espacial de los contenedores dentro de los circuitos y los tiempos de tránsito entre paradas.

Frecuencia promedio ponderada (2,75 días/ciclo)

Para el cálculo del aumento de frecuencia requerido se utilizó una frecuencia promedio ponderada de 2,75 días por ciclo, calculada a partir de los valores observados en cada municipio ponderados por la cantidad de contenedores. Este valor es levemente inferior al promedio simple de 3,0 días, dado el peso relativo del municipio B, que presenta una frecuencia de 0,77 días por ciclo considerablemente menor al resto del sistema.

Para la estimación del costo operativo recurrente del escenario de aumento de frecuencia, se utilizó un costo de referencia de USD 34,2 por tonelada recolectada, correspondiente al promedio regional para América Latina y el Caribe reportado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2015). Este valor fue aplicado sobre las 595.075 toneladas anuales de residuos sólidos generadas en Montevideo (INE, 2023), obteniéndose un costo base anual del sistema de aproximadamente USD 20,4 millones. El costo adicional asociado al aumento de frecuencia requerido (23,46%) resulta entonces en aproximadamente USD 4,8 millones anuales. Cabe señalar como limitación que el valor del BID corresponde a un promedio regional y podría no reflejar con exactitud el costo operativo local de la Intendencia de Montevideo.

Es importante aclarar por qué este mismo costo por tonelada no genera un costo adicional en el escenario de expansión de infraestructura. En ambos escenarios la cantidad de residuos recolectados es idéntica: la generación de residuos no varía según la cantidad de contenedores disponibles. La diferencia radica en que los contenedores adicionales funcionan como capacidad de almacenamiento temporal, permitiendo absorber la misma demanda sin modificar la frecuencia ni la cantidad de viajes de los camiones recolectores. En el escenario de aumento de frecuencia, en cambio, se realizan un 23,46% más de levantes sobre el mismo volumen de residuos, lo que implica mayor uso de combustible, horas de personal y desgaste de flota, generando el costo recurrente estimado. Cabe mencionar como limitación que una expansión muy significativa de contenedores podría eventualmente requerir ajustes en los circuitos de recolección, lo que tendría algún impacto operativo no contemplado en el presente modelo.

Objetivo de reducción ($R = 0{,}80 \times R_{actual}$)*

El umbral de mejora adoptado en los escenarios de intervención corresponde a una reducción del 20% en el índice de riesgo de desborde respecto al valor observado en cada municipio. Este objetivo fue elegido como una mejora moderada y alcanzable en el horizonte temporal propuesto, sin pretender eliminar completamente el riesgo de desborde sino reducir los desequilibrios más pronunciados del sistema.

Aumento de frecuencia requerido (+23,5%)

Bajo los supuestos anteriores, alcanzar el objetivo de reducción del 20% en el índice de riesgo mediante ajuste en la frecuencia de recolección requiere aumentar el número de levantes en aproximadamente un 23,5% respecto al nivel actual. Este valor es el que alimenta el cálculo de carga operativa adicional del escenario de frecuencia.

Anexo 6. Elaboración de encuestas

La encuesta de equipos consultores fue elaborada sobre la base de entrevistas domiciliarias cara a cara, con una muestra estratificada y probabilística de 403 casos en Montevideo, con un margen de error de ±4,8% a un nivel de confianza del 95% (Equipos Consultores, 2025).