

# Simulación de un Programa de Reciclaje para la Gestión de Envases Plásticos de Consumo Doméstico en Entornos Urbanos

## Simulation of a Recycling Program for the Management of Household Plastic Containers in Urban Environments

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.7.1.2025.09>

Fecha de recepción: 15/05/2025. Fecha de publicación: 29/05/2025

### Yurlaine Ordoñez-Solar

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia  
[yordonez2@cuc.edu.co](mailto:yordonez2@cuc.edu.co)

### Kevin Pérez-Natera

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia  
[kperez49@cuc.edu.co](mailto:kperez49@cuc.edu.co)

### Zharick Ucros-Luengas

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia  
[zucros@cuc.edu.co](mailto:zucros@cuc.edu.co)

### Alexander Troncoso-Palacio

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia  
[atroncos1@cuc.edu.co](mailto:atroncos1@cuc.edu.co)

Como citar en IEEE este artículo: Ordoñez-Solar y Otros, «Simulación de un Programa de Reciclaje para la Gestión de Envases Plásticos de Consumo Doméstico en Entornos Urbanos», *Boletín de Innovación, Logística y operaciones*, vol. 7. No. 1, pp. 92-104, 2025. Online. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/6476>

### Resumen

El propósito de esta investigación es simular un programa de reciclaje para la administración de recipientes plásticos de uso doméstico en Barranquilla, con el fin de incrementar la eficacia del sistema existente y sugerir tácticas sustentables. El principal problema es la acumulación de desechos plásticos en zonas urbanas, causada por la escasa participación de los habitantes y los sistemas de recolección deficientes. Se utilizó una metodología fundamentada en modelos de simulación de sucesos discretos, que abarcó la recopilación de datos, la segmentación por nivel socioeconómico, la elaboración de un modelo teórico y la implementación de diversos escenarios. Se establecieron variables fundamentales como la cantidad de desechos, la frecuencia de recolección, la tasa de reciclaje y el tiempo de clasificación, las cuales se distinguieron por estrato (alto, medio, bajo). A pesar de que aún faltan resultados numéricos concretos, la simulación permitió representar el flujo total de desechos, detectar puntos de congestión y sugerir mejoras adaptadas a las circunstancias de cada colectivo social. Es notable que un incremento en la participación de los ciudadanos y la mejora de la frecuencia de recolección influyen de

manera positiva en las tasas de reciclaje. Las principales conclusiones resaltan la importancia de implementar estrategias distintas dependiendo del estrato, ejecutar campañas de sensibilización eficaces y robustecer la logística de recolección. Este modelo puede ser replicado en otras urbes con problemas parecidos, convirtiéndose en un instrumento útil para la formulación de políticas públicas en gestión de residuos.

**Palabras clave:** Simulación, reciclaje, residuos plásticos, gestión urbana, participación ciudadana, sostenibilidad.

### **Abstract**

The purpose of this research is to simulate a recycling program for the management of household plastic containers in Barranquilla, with the aim of increasing the effectiveness of the existing system and suggesting sustainable strategies. The main problem is the accumulation of plastic waste in urban areas, caused by low citizen participation and deficient collection systems. A methodology based on discrete event simulation models was used, which included data collection, segmentation by socioeconomic level, development of a theoretical model, and implementation of various scenarios. Key variables were established, such as waste quantity, collection frequency, recycling rate, and sorting time, which were distinguished by stratum (high, medium, low). Although concrete numerical results are still lacking, the simulation made it possible to represent the total waste flow, identify bottlenecks, and suggest improvements tailored to the circumstances of each social group. It is notable that increased citizen participation and improved collection frequency positively influence recycling rates. The main conclusions highlight the importance of implementing different strategies depending on the stratum, executing effective awareness campaigns, and strengthening collection logistics. This model can be replicated in other cities with similar problems, becoming a useful tool for formulating public policies on waste management.

**Keywords:** Simulation, recycling, plastic waste, urban management, citizen participation, sustainability.

### **Introducción**

La contaminación por plásticos es una crisis medioambiental que impacta a nivel global, fomentando normativas y tácticas para atenuar su efecto en los ecosistemas terrestres y marinos. [1]. De igual forma, a escala global, se ha evidenciado que la aplicación de modelos de simulación en la administración de desechos facilita la evaluación de la factibilidad de estrategias sustentables y potencia la eficacia de los sistemas de recogida. [2, 3, 4, 5] En Colombia, la ineficiencia en la gestión de residuos plásticos limita el avance hacia una economía circular, lo que lleva a un aumento en la acumulación de basura en las ciudades y en los cuerpos de agua. En Barranquilla, esta situación se agrava por la falta de programas de reciclaje efectivos, causando contaminación en calles, caños y el río Magdalena. [1]. Ante esta circunstancia, el presente proyecto propone la creación de un programa simulado de reciclaje para envases plásticos de uso cotidiano, con el objetivo de evaluar su efectividad y desarrollar estrategias que mejoren la recolección y reutilización de estos residuos en áreas urbanas.

Los modelos de simulación simplifican la toma de decisiones fundamentada en datos, lo que permite mejorar recursos y disminuir los efectos en el medio ambiente. [2]. En esta situación, la simulación de un plan de reciclaje en Barranquilla no solo apoyará la administración local de desechos, sino que también funcionará como guía para la puesta en marcha de tácticas parecidas en otras urbes con problemas ambientales y logísticos parecidos.

### **Estado del arte**

La gestión de los residuos representa un reto ambiental crucial en la actualidad, dado que una administración ineficaz de los residuos puede provocar impactos perjudiciales en el ecosistema [6]. El arte del arte examina la bibliografía sobre el medio ambiente de los desechos plásticos de uso doméstico, el reciclaje y la simulación para optimizar la administración de estos desechos en zonas urbanas, en particular en los ecosistemas acuáticos. Por lo tanto, [7] examinaron el ingreso de macro desechos plásticos al Mar Tirreno desde el río Tíber, destacando cómo los ríos urbanos funcionan como vías de propagación de contaminantes plásticos hacia los ecosistemas marinos. Asimismo, [8] se investigó la acumulación de macro plásticos en una bahía tropical del Atlántico, identificando patrones de acumulación en zonas urbanas y su impacto en esos ecosistemas. También se ha documentado el efecto de los plásticos en la fauna urbana. [9] El estudio examina la absorción de plásticos en la contaminación por gaviotas en entornos urbanos costeros, sugiriendo su aplicación como marcadores de contaminación ambiental. Destaca la importancia de técnicas eficaces de reciclaje y gestión de residuos en áreas metropolitanas

y sugiere integrar variables contextuales como la densidad de población y la infraestructura de transporte. [10] Asimismo, se ha documentado el efecto de los plásticos en la fauna urbana [11]. También se ha resaltado la importancia de considerar el comportamiento de los usuarios finales, como la disposición a separar residuos o participar en campañas, dentro de los modelos de simulación urbana [12].

En muchas ciudades, la falta de un sistema de reciclaje eficaz provoca la acumulación de residuos en calles, cuerpos de agua y vertederos, lo que afecta negativamente al medio ambiente y la calidad de vida de la población. Investigaciones actuales sugieren una clasificación exhaustiva de los residuos, lo que permite optimizar el diseño de los equipos y aumentar la eficiencia en la gestión del reciclaje. [6]. Estudios recientes han demostrado que la simulación puede ser una herramienta eficaz para diseñar estrategias sostenibles de gestión de residuos [13]. Por ejemplo, se utilizó un modelo de simulación basado en agentes para evaluar diferentes escenarios de reciclaje de plástico en zonas urbanas, identificar mejoras en las tasas de reciclaje y reducir los residuos. [14] Asimismo, se ha evidenciado que el uso de modelos de simulación dinámica permite evaluar políticas de reciclaje y ajustar los sistemas de recolección a las condiciones reales de cada ciudad, mejorando su eficiencia operativa [15, 16]. Se ha comprobado que las simulaciones apoyadas en datos reales pueden ayudar a identificar patrones de comportamiento ciudadano frente al reciclaje, lo cual resulta clave para diseñar campañas efectivas de concienciación ambiental [17]. De igual manera, se ha explorado el uso de simulación con enfoque en dinámica de sistemas para prever cuellos de botella en el ciclo de reciclaje y proponer mejoras estructurales en la logística urbana [18].

Algunos estudios destacan que la segmentación por estrato socioeconómico permite afinar los modelos de simulación y adaptar las estrategias de reciclaje a contextos urbanos específicos [19]. Este tipo de enfoque adaptativo ha sido clave en modelos exitosos implementados en ciudades con desigualdades marcadas en participación y generación de residuos [20], incluso, recientes enfoques híbridos combinan simulación y análisis multicriterio para seleccionar las mejores estrategias de reciclaje según los indicadores sociales, ambientales y económicos de cada comunidad [21]. Finalmente, se reconoce que los modelos de simulación también facilitan la toma de decisiones gubernamentales al anticipar resultados de políticas ambientales antes de su implementación real [22]. Asimismo, se ha documentado que los modelos de simulación pueden contribuir a la transición hacia una economía circular al identificar puntos críticos en la cadena de valor de los residuos plásticos [23].

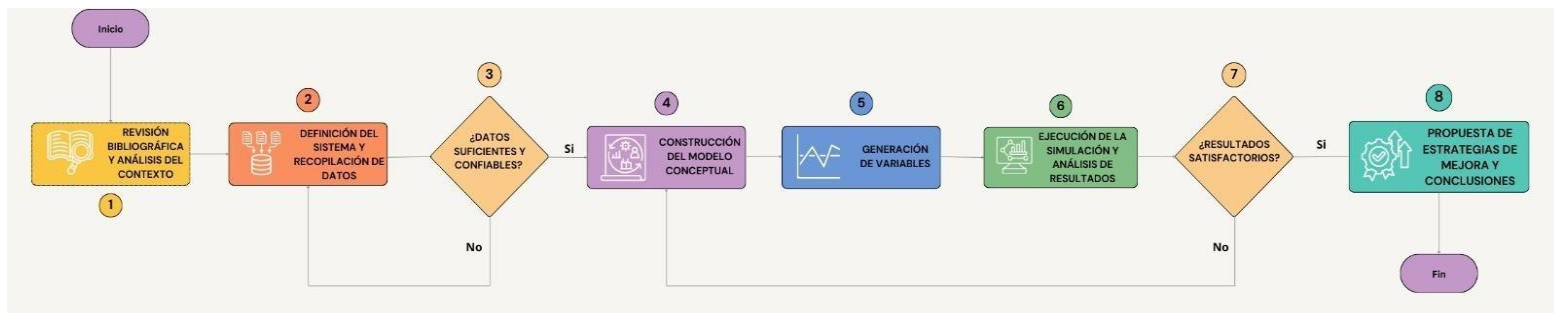
## **Metodología**

Para el desarrollo de este proyecto de simulación, se seguirán los siguientes pasos metodológicos:

- 1. Revisión bibliográfica y análisis del contexto**
  - Se investigará la problemática global, nacional y local de la gestión de envases plásticos de consumo doméstico [23,24,25,26,27,28,29,30,31].
  - Se consultarán fuentes académicas, normativas y estudios previos sobre programas de reciclaje y simulación de sistemas.
- 2. Definición del sistema y recopilación de datos**
  - Se identificará el flujo actual de gestión de residuos plásticos en Barranquilla, considerando actores clave como hogares, empresas recolectoras y plantas de reciclaje.
  - Se recopilarán datos sobre la generación de residuos, frecuencia de recolección, participación ciudadana y eficiencia del reciclaje.
- 3. Construcción del modelo conceptual**
  - Se representará el sistema mediante diagramas de flujo y modelos de eventos discretos para describir las interacciones entre los actores del proceso.
  - Se definirán las variables clave y sus relaciones para estructurar el modelo de simulación.
- 4. Generación de variables**
  - Se identificarán las distribuciones estadísticas adecuadas para las variables involucradas (cantidad de residuos generados, frecuencia de recolección, tasas de reciclaje, entre otras).
- 5. Ejecución de la simulación y análisis de resultados**
  - Se correrán diferentes escenarios para evaluar la eficiencia del sistema de reciclaje en términos de costos, tiempos de recolección y volumen de residuos reciclados.
  - Se analizarán los resultados y se identificarán puntos de mejora en el proceso.
- 6. Propuesta de estrategias de mejora y conclusiones**

- Con base en los resultados de la simulación, se propondrán estrategias para mejorar la gestión de envases plásticos en Barranquilla.
- Se elaborarán conclusiones y recomendaciones para la implementación de un programa de reciclaje más eficiente.

Figura 1. Metodología propuesta.



## Desarrollo

### 2. Definición del sistema y recopilación de datos

El sistema propuesto se enfoca en la gestión de envases plásticos de consumo doméstico en el entorno urbano de Barranquilla, desde su generación en los hogares hasta su recolección y clasificación en plantas de reciclaje. Este sistema está compuesto por tres actores clave:

- Hogares: generadores primarios de residuos plásticos.
- Empresas recolectoras: encargadas de la recolección y transporte de los residuos.
- Plantas de reciclaje y acopio: responsables de la separación y tratamiento de los residuos útiles.

Tabla 1. Datos Recolectados.

Elemento del sistema	Dato recolectado	Unidad/Tipo	Uso en el modelo	Responsable
Cantidad de residuos generados	46.374,4 toneladas mensuales	Toneladas/mes	Parámetro de entrada	Hogares/Industria
Porcentaje de residuos que son plásticos	70.7% (32,786)	Porcentaje (%)	Proporción de entidad plástica	Hogares/Industria
Frecuencia de recolección	2–6 veces/semana (según zona)	Veces por semana	Programación de llegada de recolectores	Empresa recolectora
Tasa de reciclaje de plásticos	12%	Porcentaje (%)	Porcentaje procesado exitosamente	Sistema nacional de reciclaje
Participación ciudadana	Baja, con campañas activas	Cualitativa	Probabilidad de separación en fuente	Hogares / Alcaldía
Capacidad promedio de camiones recolectores	14 toneladas	Toneladas	Capacidad máxima por entidad	Empresa recolectora
Tiempo entre paradas de recolección	72% del tiempo operativo	Porcentaje del tiempo de jornada	Duración de recolección por ruta	Personal de recolección
Tiempo de clasificación en plantas de acopio	45 min por tonelada (valor estimado oficial)	Minutos por lote / Por tonelada	Tiempo de proceso por entidad	Planta de acopio / recicladores
Distancia al sitio de disposición final	16,1804 km	Kilómetros (km)	Tiempo y costo estimado de transporte final	Empresa recolectora / Alcaldía

Para la construcción del modelo de simulación, se inició con la definición general del sistema de gestión de residuos sólidos urbanos, en donde se recopilaron datos clave como la cantidad de residuos generados mensualmente, el porcentaje correspondiente a residuos plásticos, la frecuencia de recolección, la tasa de reciclaje, el grado de participación ciudadana, el tiempo de clasificación en las plantas de acopio y la distancia al sitio de disposición final.

Esta información se recolectó a partir de empresas recolectoras, entidades municipales y datos estimados por instituciones nacionales. En esta etapa, todos los datos estaban organizados de forma global, sin considerar diferencias entre los distintos estratos socioeconómicos.

Para lograr una simulación más precisa y realista, se clasificó la información según los estratos socioeconómicos. Se definieron tres grupos:

- Estrato Bajo (1-2)
- Estrato medio (3-4)
- Estrato alto (5-6)

Cada grupo presenta características diferentes en cuanto a generación de residuos, hábitos de consumo, frecuencia de recolección y participación ciudadana, lo cual influye directamente en la eficiencia del sistema de reciclaje. Esta segmentación permite que el modelo refleje mejor la dinámica real del sistema y se puedan identificar puntos de mejora específicos para cada contexto social.

A continuación, se presenta la tabla con los valores diferenciados por estrato, que serán utilizados como parámetros de entrada en el modelo de simulación:

*Tabla 2. Datos Subdivididos por estratos.*

<b>Estrategia de simulación por estrato</b>					
<i>Elemento del sistema</i>	<i>Estrato Bajo (1-2)</i>	<i>Estrato medio (3-4)</i>	<i>Estrato alto (5-6)</i>	<i>Unidad/Tipo</i>	<i>Uso en el modelo</i>
Cantidad de 6 residuos generados	8,458 toneladas/mes	6,754 Toneladas/mes	7,950 Toneladas/mes	Toneladas/mes	Parámetro de entrada
Porcentaje de residuos que son plásticos	25.8%	20.6%	24.25%	Porcentaje (%)	Proporción de entidad plástica
Frecuencia de recolección	3 veces/semana	6 veces/semana	6 veces/semana	Veces por semana	Programación de llegada de recolectores
Tasa de reciclaje de plásticos	5%	15%	20%	Porcentaje (%)	Porcentaje procesado exitosamente
Participación ciudadana	Baja	Media	Alta	Cualitativa	Probabilidad de separación en fuente
Tiempo de clasificación	50 min/Tonelada	45 min/Tonelada	40 min/Tonelada	Toneladas	Capacidad máxima por entidad
Distancia al sitio de disposición final	16,1804 km	16,1804 km	16,1804 km	Kilómetros (km)	Tiempo y costo estimado de transporte final

### Variables que se tienen en cuenta para la simulación

- ✓ Tiempo de clasificación (min/tonelada)
- ✓ Frecuencia de recolección (veces por semana → convertir a días entre recolección)
- ✓ Cantidad de residuos generados (toneladas/mes)

### Paso 1: Simular datos basados en la tabla.

Usaremos los valores de la tabla para generar 30 datos simulados, tomando como referencia una distribución base. Aquí están las bases:

**Tiempo de clasificación:** 0.25 horas

### Frecuencia de recolección:

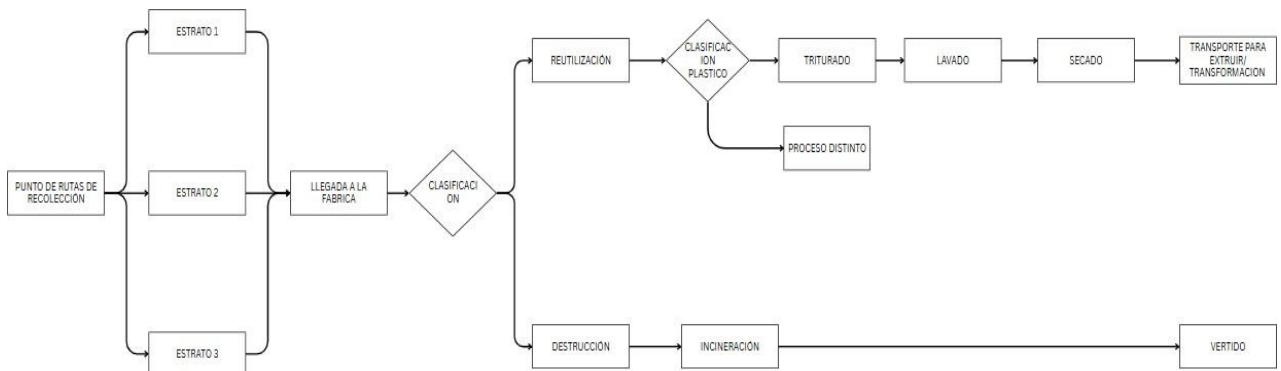
- Bajo (3 veces/semana) = Zona Sur, Zona Sur II
- Medio (6 veces/semana) = Ciudadela 20 de julio, centro y mercado
- Alto (6 veces/semana) = Zona norte

### Cantidad de residuos generados:

- Bajo: 8,458 t/
- Medio: 6,754 ton/mes
- Alto: 7,950 ton/mes

### 3. Construcción del modelo conceptual:

*Figura 2. Modelo Conceptual Representado en un Diagrama.*



### Representación del diagrama de flujo del sistema de gestión de residuos:

El sistema se modeló con un diagrama de flujo basado en lógica de eventos discretos, para representar de forma precisa y secuencial el ciclo de vida de los residuos sólidos urbanos desde su generación y recolección hasta su clasificación, reciclaje o disposición final. Este diagrama está compuesto por entidades dinámicas (residuos generados), que fluyen a través de diferentes bloques de procesos, tales como:

**Recolección:** Donde se simula la frecuencia de recolección según el estrato (bajo, medio, alto), influenciada por parámetros establecidos (3 o 6 veces por semana).

**Clasificación:** Los residuos ingresan a un proceso donde se separan por tipo de material (plástico o no), y se calcula un tiempo de procesamiento en minutos por tonelada, que depende del nivel de participación ciudadana.

**Proceso de Reciclaje:** Aquí se modela la probabilidad de éxito en la reutilización del plástico según el estrato, con tasas de reciclaje diferenciadas.

**Disposición Final:** Los residuos que no son reciclables son transportados al sitio de disposición, considerando la distancia constante (16,1804 km) y su implicación en tiempo y costo.

Se utilizaron estructuras condicionales y de decisión para representar bifurcaciones en el proceso como, por ejemplo: ¿El residuo es plástico? ¿Tiene posibilidad de ser reciclado? ¿Cuál es el nivel de participación ciudadana? Estas decisiones permiten modelar rutas alternativas, optimizar recursos y evaluar el impacto de las políticas de reciclaje y educación ciudadana.

#### 4. Generación de Variables

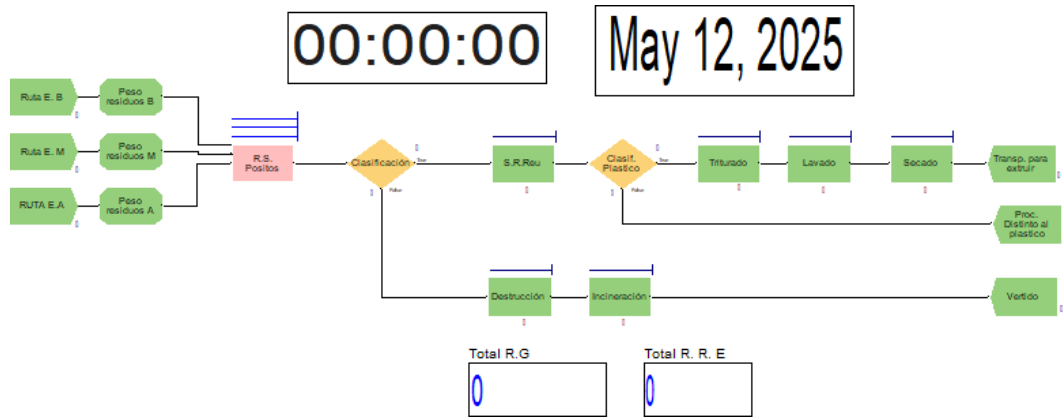
*Tabla 3. Datos de Variables Generadas en el Modelo.*

Variable	Unidad	Tipo de Variable	Distribución Sugerida	Uso en el Modelo
Cantidad de residuos generados por estrato	Toneladas/mes	Continúa.	Constante	Parámetro de entrada del sistema
Porcentaje de residuos que son plásticos	%	Continua (proporcional)	Constante	Filtrado y clasificación de residuos
Frecuencia de recolección	Veces/día	Discreta	Constante:	Programación de llegada de recolectores
			2	
Tasa de reciclaje de plásticos	%	Probabilidad de éxito	Constante: 12%	Proporción de residuos reciclados exitosamente
Tiempo de clasificación	Min/Tonelada	Continúa.	Constante: 0.25 horas	Tiempo del proceso de clasificación

#### 5. Ejecución de la simulación y análisis de resultados

La simulación fue realizada utilizando el software Arena Simulation en su versión educacional (Student Mode). Debido a las limitaciones de capacidad de esta versión, no fue posible utilizar los volúmenes reales de datos (en toneladas mensuales) para modelar cada unidad de residuo como una entidad individual. Por esta razón, se adoptó una estrategia de agrupamiento, representando los residuos en “paquetes” que agrupan múltiples toneladas, permitiendo así que el modelo se mantuviera dentro del límite de 150 entidades que impone el software. Además, se representó el proceso de recolección de residuos a través de camiones de recolección que llegaban al sistema cada 4 horas desde cada uno de los tres estratos (bajo, medio y alto). A continuación, se presenta el modelo simulado en Arena, donde se visualiza la lógica del sistema centrada únicamente en la disposición de los residuos plásticos. El proceso de otros residuos reutilizables no fue considerado en este modelo. Por otro lado, aquellos no reciclables fueron dirigidos un proceso de destrucción, incineración y vertido:

Figura 3. Representación del Modelo.



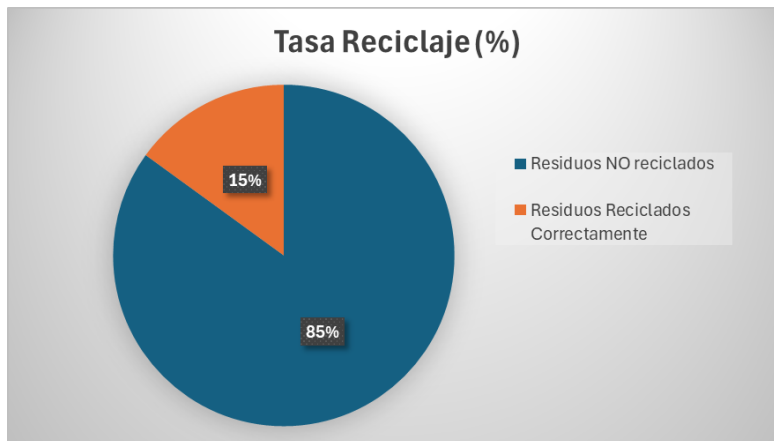
## Resultados

Una vez ejecutado el modelo el software generó diversas estadísticas relevantes. Los indicadores clave fueron los siguientes:

- Total de residuos generados
- Total de residuos reciclados efectivamente

A partir de estos datos, fue posible realizar diferentes representaciones gráficas para facilitar su análisis:

Figura 4. Gráfico de la Tasa de Reciclaje Efectiva (%).



Este gráfico revela que alrededor del 15% de los residuos totales se reciclaron de manera efectiva, mientras que el 85% restante no pudo ser reciclado. Este dato evidencia la clara necesidad de mejorar los métodos de separación y reciclaje, especialmente si se busca aumentar la eficiencia del sistema de gestión de residuos.

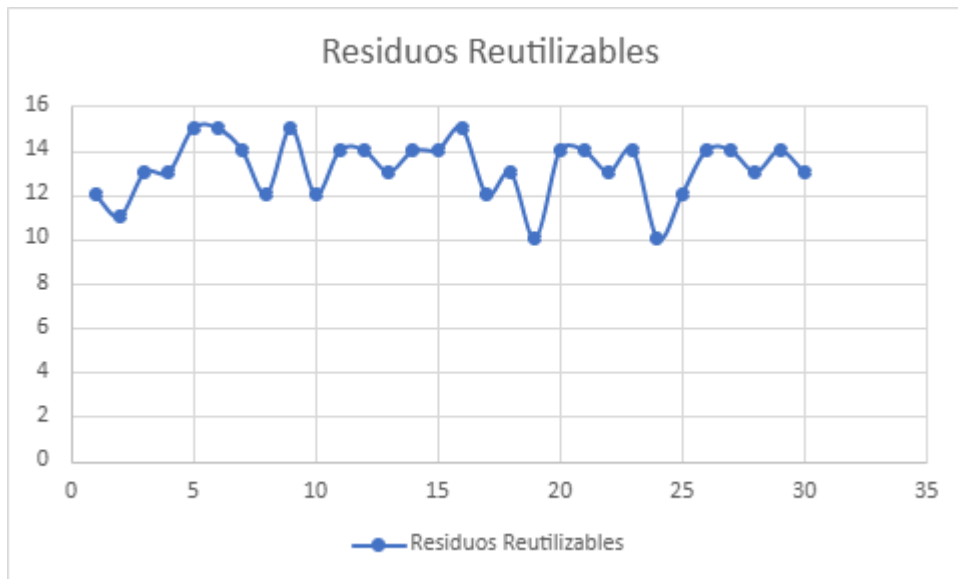
Figura 5. Gráfico de Pareto de Residuos Reciclados.



Este gráfico evidencia

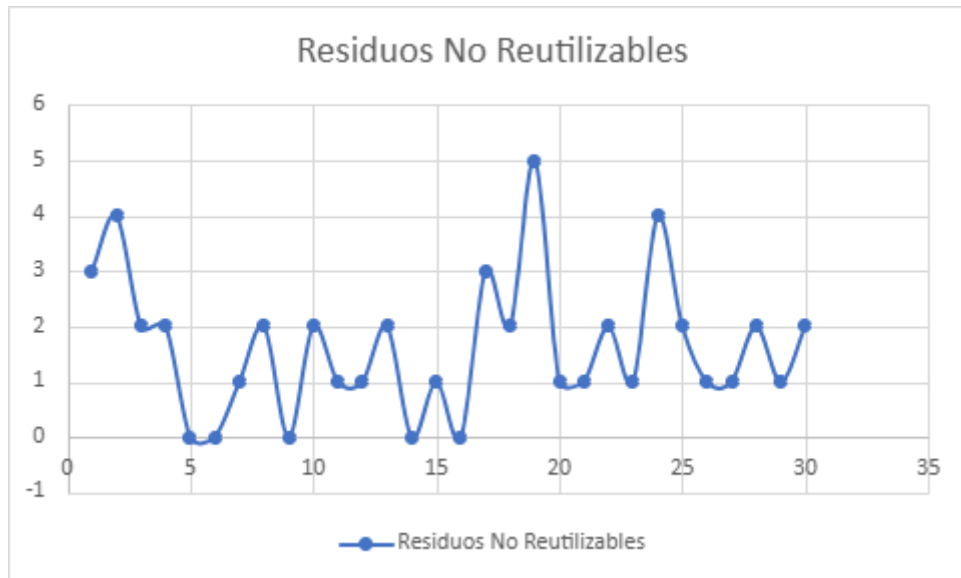
que existe mucha variabilidad entre las simulaciones, a pesar de que en la mayoría de los diferentes escenarios se mantuvieron en un rango de 7 a 10 toneladas recicladas, existen casos con valores de reciclaje mucho más bajos o más altos. Esto puede significar que la tasa de reciclaje depende de factores como la configuración operativa del sistema o las condiciones aleatorias simuladas.

Figura 6. Gráfico de Residuos Reutilizables.



En este diagrama de dispersión la mayoría de los puntos se centran entre las 12 y 15 toneladas, lo que significa que, a pesar de la variabilidad en los residuos reciclados, los que son potencialmente reutilizables tienden a tener una proporción más constante

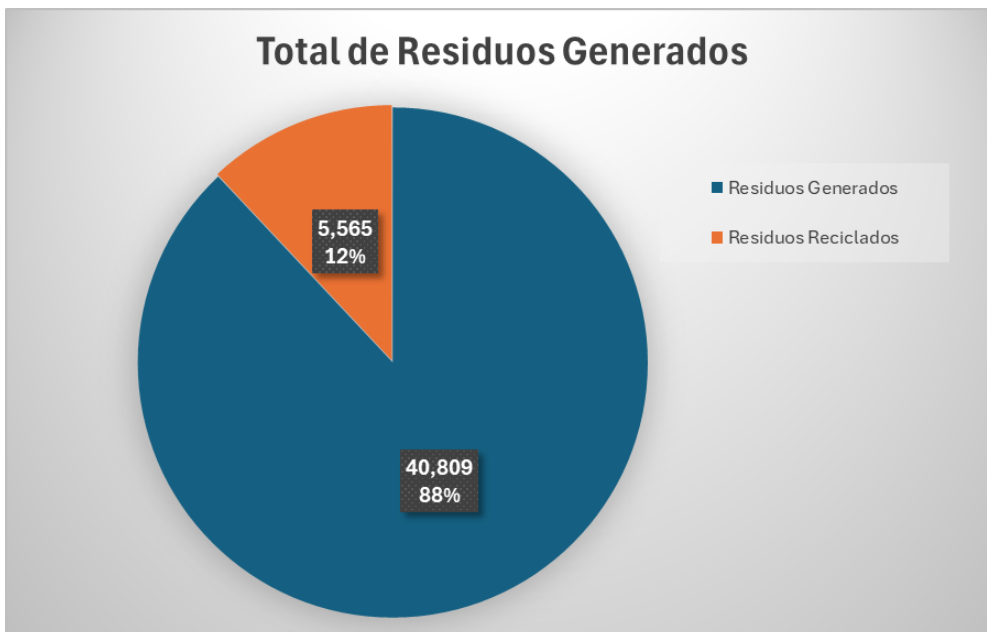
Figura 7. Gráfico de Residuos No Reutilizables.



Este gráfico evidencia que existe una fluctuación elevada en los residuos no reutilizables, esto puede deberse a los comportamientos estocásticos simulados como variaciones en la participación ciudadana, que es la probabilidad de que los residuos ya vengán separados en la fuente.

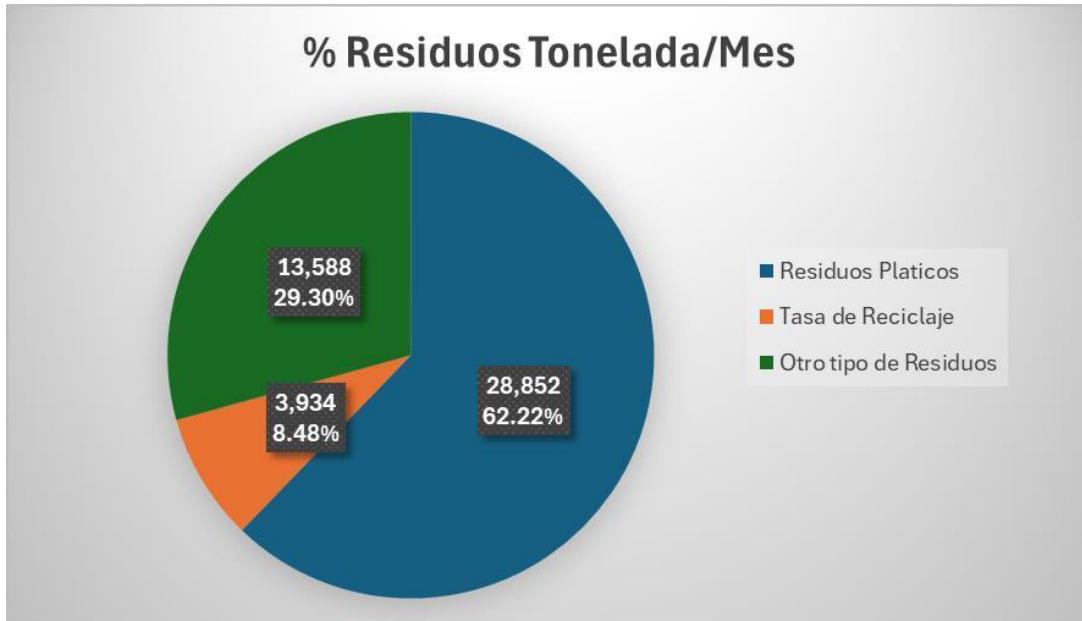
Adicionalmente, se realizó un análisis con datos reales de toneladas generadas en el sistema, lo que permitió evidenciar aún más la magnitud de la problemática. En los siguientes gráficos de torta se visualiza:

Figura 8. Gráfico Del Total de Residuos Generados.



Esto representa que, de las 46,374 toneladas mensuales generadas, solo 12% (5,565 toneladas) corresponde a residuos reciclados, mientras que 88% (40,809 toneladas) no se recicla.

Figura 9. Gráfico del % e Residuos Toneladas/Mes



En este gráfico se detalla el porcentaje por tipo de residuo y se subdividen los plásticos (70.07%) en un 62.22% de plásticos no reciclables, una tasa de reciclaje de apenas 8.48% y otros residuos (29.30%). Esta baja proporción de reciclaje resalta la necesidad urgente de mejorar los procesos de clasificación y recuperación.

## Conclusiones

El análisis que se llevó a cabo, tanto a través de simulaciones como con datos reales, nos brinda una visión completa del rendimiento actual del sistema de gestión de residuos. Con el modelo que se desarrolló en Arena, a pesar de las limitaciones de la versión educativa del software, se logró representar de manera efectiva el flujo de residuos, desde su recolección hasta su clasificación, utilizando unidades simbólicas que reflejan las toneladas transportadas en cada camión.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto un problema estructural en el manejo de residuos sólidos. Solo el 15% de los residuos se reciclan de manera efectiva, mientras que un alarmante 85% no recibe un tratamiento que permita su valorización. Estos datos se ven respaldados por la información real, que indica que mensualmente se generan alrededor de 46,374 toneladas, de las cuales apenas un 12% se recicla. Además, el predominio de residuos plásticos (70.7%) y la baja tasa de reciclaje subrayan la ineficiencia en los procesos de separación y aprovechamiento de materiales reutilizables.

Los indicadores de residuos reciclados y reutilizables muestran cierta estabilidad, pero los residuos no reutilizables presentan una variabilidad significativa, lo que podría estar relacionado con inconsistencias en la clasificación o con la falta de recursos para un tratamiento más efectivo.

Frente a este panorama, se concluye que uno de los principales factores limitantes no es solo tecnológico ni logístico, sino social. La escasa participación ciudadana en la separación de residuos desde su origen es una de las causas más relevantes de la baja tasa de reciclaje. A pesar de los esfuerzos institucionales, sin un compromiso activo por parte de los hogares y comercios para clasificar adecuadamente sus desechos, el sistema seguirá funcionando de manera ineficiente.

Por lo tanto, se propone como solución prioritaria el fortalecimiento de campañas de educación ambiental y concientización ciudadana que promuevan activamente la separación en la fuente y la necesidad de implementación en todos los estratos sociales.

## Referencias

- [1] ONU Programa para el medio ambiente, «Ciudades de América Latina y el Caribe unen fuerzas por un entorno libre de plásticos,» 2025.
- [2] G. Ferrari, R. Gamberini y B. Rimini, «Simulation modeling for sustainable waste management: A case study approach.,» *Journal of Cleaner Production*, 292, 126032, 2021.
- [3] A. Hernandez Pinha y J. Keiko Sagawa, «A system dynamics modelling approach for municipal solid waste management and financial analysis,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, 2020.
- [4] H. Sun, H. Liu, J. Tian, R. Guo, Q. Xu, L. Yao, W. Hong, H. Li y C. Zhu, «Modelling and Optimizing Resource Management and Environmental Benefit of Construction and Demolition Waste: A Case Study in China,» *Buildings*, vol. 12, n° 9, 2022.
- [5] E. Cortes-Lesmes, A. Troncoso-Palacio y P. Carillo-Lopes, «A Computer Simulation of the Plastic Waste Sorting and Recycling,» *Research Inventy. International Journal of Engineering and Science*, vol. 12, n° 10, 2022.
- [6] J. García Sánchez, «Desarrollo de un modelo de simulación de una planta de reciclaje,» Universidad Pontificia Comillas, 2023.
- [7] G. Cesarini, A. Arcangeli, M. Scalici y R. Crosti, «Computing riverine inputs of macrolitter into the Central Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean Sea) from the Tiber River during the 1st post-pandemic year,» *Science of the Total Environment*, vol. 965, 2025.
- [8] A. Póvoa, L. de Souza, I. Henud, R. Amorim y A. Soares-Gomes, «Macrofoiling on marine litter in a Southwest Atlantic urban tropical bay and surrounds,» *Marine Pollution Bulletin*, vol. 211, 2025.
- [9] A. Max, V. Martín-Vélez, J. Navarro, T. Montalvo y O. Garcia-Garin, «Characterization of plastic ingestion in urban gull chicks and its implications for their use as pollution sentinels in coastal cities,» *Marine Pollution Bulletin*, vol. 211, 2025.
- [10] Cohen, J; Gil, J; Rosado, L;, «Exploring urban scenarios of individual residential waste sorting using a spatially explicit agent-based model,» *Waste Management*, 2025.
- [11] Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D., «resencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública,» *Revista Española de Salud Pública*, 2024.
- [12] A. Ceschi y e. all, «Testing a norm-based policy for waste management: An agent-based modeling simulation on nudging recycling behavior,» *Journal of Environmental Management*, vol. 294, p. Journal of Environmental Management, 2021.
- [13] S. Sofán Germán, J. Arrieta Torres, A. Ruíz Garcés y M. Doria Oviedo, «Evaluación energética de la formación de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos del relleno sanitario mediante el modelo LandGEM,» *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 11, n° 2, 2023.
- [14] J. Castro, D. García y A. López, «Agent-based modeling of urban plastic waste collection systems: A sustainability assessment. Journal of Cleaner Production, 354, 131641.,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 353, 2022.
- [15] T. Cantillo, S. Notaro, N. Bonini y C. Hadjichristidis, «Assessing Italian household preferences for waste sorting systems: The role of environmental awareness, socioeconomic characteristics, and local contexts,» *Waste Management*, vol. 163, 2023.
- [16] F. Sánchez-Romero y A. Recalde-Gracey, «Gestión de residuos sólidos municipales 2021-2023: Revisión sistemática,» *Revista Electrónica de Ciencias Gerenciales*, 2024.

- [17] F. Russo, G. Fortugno, M. Merante, D. Pellicanò y M. Trecozzi, «Updating National Air Passenger Demand from Traffic Counts: The Case of a Secondary Airport in an Underdeveloped Regio,» *Sustainability*, 2021.
- [18] S. Dutt Attri, S. Singh, A. Dhar y S. Powar, «Multi-attribute sustainability assessment of wastewater treatment technologies using combined fuzzy multi-criteria decision-making techniques,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, 2022.
- [19] S. Sapallini, V. Milone, A. Nisio y P. Romanazzi, «The Dimension of Sustainability: A Comparative Analysis of Broadness of Information in Italian Companies,» *Sustainability*, 2021.
- [20] E. Najar Marin, «Solid waste management in urban areas of Latin America,» Universidad Cesar vallejo Perú., 2023.
- [21] e. a. Shahab Saquib Sohail, «Multi-criteria decision making-based waste management: A bibliometric analysis,» *Heliyon*, vol. 9, 2023.
- [22] e. a. Rathore S, «Joint estimation of biogeochemical model parameters from multiple experiments: A bayesian approach applied to mercury methylation,» *Environmental Modelling & Software*, vol. 155, 2022.
- [23] e. a. Solano Meza, «Predictive analysis of urban waste generation for the city of Bogotá, Colombia, through the implementation of decision trees-based machine learning, support vector machines and artificial neural networks,» *Heliyon*, 2019.
- [24] Y. A. Picón-Jaimes, «Innovation and digital transformation in health education: opportunities to drive technological development in the training of future professionals,» *Inge CUC*, vol. 20, no. 1, 2024.
- [25] C. A. P. Rodríguez, L. M. S. Martínez y D. H. P. Ordoñez, «Effort estimation in agile software development: A systematic map study,» *Inge CUC*, vol. 19, no. 2, 2023.
- [26] A. F. González-Pedraza, Y. A. C. Barrios y J. C. Escalante, «Soil salinization in agricultural areas of the Caribbean region and agroecological recovery strategies: Review,» *Inge CUC*, vol. 18, no. 1, 2022.
- [27] D. C. L. Tamayo, J. M. L. Lezama y W. M. Villa, «Mean-variance mapping optimization algorithm applied to the optimal reactive power dispatch,» *Inge CUC*, vol. 17, no. 1, 2021.
- [28] K. Pimiento y M. J. C. González, «Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita (Venezuela),» *Inge CUC*, vol. 17, no. 1, 2021.
- [29] L. C. González, N. C. Novoa y A. B. Sanjuán, «Alternativas orgánicas para el logro de producciones más limpias de la fresa en Pamplona, Norte de Santander,» *Inge CUC*, vol. 16, no. 2, 2020.
- [30] H. A. Ordoñez, C. C. Ordoñez y J. A. Ordoñez, «Jurisprudence search in Colombia based on natural language processing (NLP) and Linked Data,» *Inge CUC*, vol. 16, no. 1, 2020.
- [31] J. R. Vásquez, D. S. A. Salazar y C. M. M. Abril, «Análisis basado en optimización de externalidades negativas del servicio de transporte público urbano: Un caso de estudio,» *Inge CUC*, vol. 17, no. 1, 2021.
- [32] Y. A. Fernández, D. F. Marrero y M. E. M. Montero, «Liquid nitrogen as promotor of seeds germination and seedling growth in tropical legumes,» *Inge CUC*, vol. 17, no. 1, 2021