



MODELO PARA LA PLANEACIÓN DE RUTAS Y SERVICIOS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS EN EL VALLE DE ABURRÁ.

María Carolina Valencia García

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería Analítica Nodo Profundización

Director:
Profesor Fernán Alonso Villa Garzón

Línea de Investigación:
Analítica
Grupo de Investigación:
SENDA R&D Group: Software Engineering and Data Science Research and Development Group

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Antioquia (Escuela Ciencia de la computación)
Medellín, Colombia
Año 2022

Contenido

Contenido.....	2
Resumen.....	5
Abstract.....	6
CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.....	7
Sección 1.1 Introducción	7
Sección 1.2 Revisión de la literatura	8
Recolección y transporte.....	8
Aumento de los residuos sólidos	9
Logística Urbana.....	11
Calibración de Rutas.....	13
Incultura ciudadana.....	14
Sección 1.3 Objetivos General y Específicos	15
Sección 1.4 Metodología.....	15
Sección 1.5 Orden del trabajo.....	18
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN EN LA RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL VALLE DE ABURRÁ.....	19
Sección 2.1. Introducción al primer objetivo específico	19
Sección 2.2. Materiales y métodos.....	21
Densidad poblacional.....	21
Sección 2.3. Conclusiones.....	28
CAPITULO 3. MODELO PARA ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL VALLE DE ABURRÁ.	28
Sección 3.1. Introducción.....	28
Sección 3.2. Materiales y métodos.....	29

Sección 3.3. Análisis de sensibilidad	40
Sección 3.4. Discusión de los resultados	42
CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
Sección 4.1 Conclusiones generales.	43
Sección 4.2 cumplimiento de los objetivos.....	43
Sección 4.3 Recomendaciones.....	44
Sección 4.4 Trabajo futuro.....	45
REFERENCIAS	46

Tabla de Figuras

Figura 1 Residuos Sólidos Urbanos	9
Figura 2. Proyecciones Poblacionales Área Metropolitana del Valle de Aburrá	10
Figura 3 Proyección de Población 2018 - 2030 por cada Municipio	10
Figura 4 Evaluación de Rutas de Recolección	12
Figura 5 Acopios Clandestinos de Basura	14
Figura 6. Generación de residuos versus población por municipio.....	22
Figura 7. Población por municipio del Valle de Aburrá.....	22
Figura 8. Producción per cápita de residuos sólidos por habitante.....	23
Figura 9. Proyección poblacional por municipio del AMVA	24
Figura 10. Censo de habitantes en condición de calle.....	24
Figura 11. Sector la paz - municipio de Medellín	25
Figura 12. Número personas pre-registrados en el Registro Único de Migrantes Venezolanos.....	26
Figura 13. Viviendas por Municipio.....	26
Figura 14. Cantidad unidades económicas por sector	27
Figura 15. Información por territorio	27
Figura 16. Flujo de proceso para la actividad de recolección y transporte	29
Figura 17. Modelo NNAR Municipio Barbosa	30
Figura 18. Serie de tiempo toneladas recolectadas Barbosa.....	31
Figura 19 Pronóstico toneladas Barbosa.....	31
Figura 20. Modelo NNAR Municipio Medellín	32
Figura 21 Serie de tiempo toneladas Medellín	33
Figura 22. Pronóstico toneladas Medellín	33
Figura 23 Modelo Proceso de Recolección y Transporte de Residuos.....	34
Figura 24 Escenario 1 - Simulación Recolección y transporte.....	36
Figura 25 Escenario 2 - Simulación Recolección y Transporte	37
Figura 26 Escenario 3 - Simulación Recolección y Transporte	38
Figura 27 Escenario 4 - Simulación Recolección y Transporte	39
Figura 28 Validación del modelo con valores inferiores.....	40
Figura 29 Validación del modelo con el doble de rutas.....	41

Resumen

El presente proyecto examina desde un punto de vista analítico las variables existentes en la problemática de los residuos sólidos en el valle de Aburrá, desde los componentes externos e internos de las organizaciones prestadoras del servicio público de aseo. Se describen los factores externos como la incultura ciudadana, la problemática de migrantes en las ciudades, personas en situación de calle; así como factores internos asociados a los problemas mecánicos de los vehículos recolectores, los tiempos y movimientos de la operación, y sus problemáticas logísticas dentro del cumplimiento de las rutas.

Se propone un modelo que genere puntos de control para las empresas prestadoras del servicio público de aseo, teniendo en cuenta datos poblacionales, comerciales, toneladas recolectadas históricamente, con el fin de generar una mejora en los puntos señalados por el modelo, que permita optimizar los procesos con eficiencia y calidad con base en la normatividad vigente.

Para la validación del modelo se consideraron dos escenarios donde se modifican los servicios a prestar por día, y con base en estos datos se plantearon situaciones de control por verificar por cada prestador del servicio en si los casos de mejora tienen aplicación en su organización.

Palabras clave: Gestión de residuos, CRISP-DM, Logística en el transporte de residuos, Planeación de recolección, tiempos y movimientos, crecimiento poblacional, crecimiento de residuos.

Abstract

MODEL FOR THE PLANNING OF WASTE COLLECTION AND TRANSPORTATION ROUTES AND SERVICES IN THE VALLE DE ABURRA

This project examines the existing variables in the problem of solid wastes in the Aburrá Valley from an analytical point of view, from the external and internal components of the organizations providing the public sanitation service. External factors are described, such as the lack of civic culture, the problem of migrants in the cities, homeless people; as well as internal factors associated with the mechanical problems of the waste collection vehicles, the times and operation movements, and their logistical problems within the fulfillment of the routes.

A model is proposed that generates control points for the companies providing the public sanitation service, taking into account population and commercial data, tons collected historically, in order to generate an improvement in the points indicated by the model, which allows optimizing the processes with efficiency and quality based on the current regulations.

For the validation of the model, two scenarios were considered where the services to be provided per day are modified, and based on these data, control situations were proposed to be verified by each service provider to see if the improvement cases have application in their organization.

Keywords: Waste management, CRISP-DM, Services, Waste transport logistics, Collection planning, Time and motion, Population growth, Waste growth.

CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ASEO EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.

Sección 1.1 Introducción

El servicio público de aseo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá está regulado por el Decreto 1077 del 2015 y sus respectivas actualizaciones (Nacional, 2015), donde se reglamenta el bienestar de los ciudadanos en el saneamiento de vías y áreas públicas en las nueve actividades que rigen el servicio, las cuales son, según el Artículo 2.3.2.2.1.13 “1. *Recolección*. 2. *Transporte*. 3. *Barrido, limpieza de vías y áreas públicas*. 4. *Corte de césped, poda de árboles en las vías y áreas públicas*. 5. *Transferencia*. 6. *Tratamiento*. 7. *Aprovechamiento*. 8. *Disposición final*. 9. *Lavado de áreas públicas*.”; si bien está reglamentado, es posible observar en las ciudades cómo los espacios públicos se están deteriorando cada vez más, se encuentran sucios y en muchos lugares se perciben acopios de basuras que impiden que las empresas públicas de aseo realicen labores con calidad y en cumplimiento de la normatividad vigente. (Aburrá, 2006).

Se precisa que hay distintas situaciones de base, que dan origen a la alta generación de residuos, donde es importante discutir que hay residuos dispuestos inadecuadamente en las vías públicas, convirtiendo esto en problemáticas de ciudad, cada una de estas tiene variables diferentes para determinar por qué la ciudadanía no tiene conciencia de los efectos que abarca en la salud pública la mala disposición de residuos (Córtes Montes, 2018).

En el presente proyecto se abarcará el tema de la generación de residuos planteando un modelo que permita rastrear desde la actividad de recolección de residuos sólidos y determinar cuáles son las variables que impiden que este servicio sea prestado con eficiencia, calidad y continuidad como lo exige la normatividad vigente.

Sección 1.2 Revisión de la literatura

El servicio público de aseo tiene un conjunto de actividades que hacen parte de la limpieza de los sectores rurales, urbanos en vías y áreas públicas, sin el cual se tendrían problemas de salud pública en el país por la mala disposición de estos; a continuación, se realiza la explicación para la actividad de recolección y transporte.

Recolección y transporte

Según *Ávila et al*, 2011, los residuos sólidos contienen un sinnúmero de temas a tratar sobre los impactos que generan estos en el medio ambiente, como también lo nombran “*consecuencia de la vida*” al ser algo no controlable para el ser humano el principal generador de residuos.

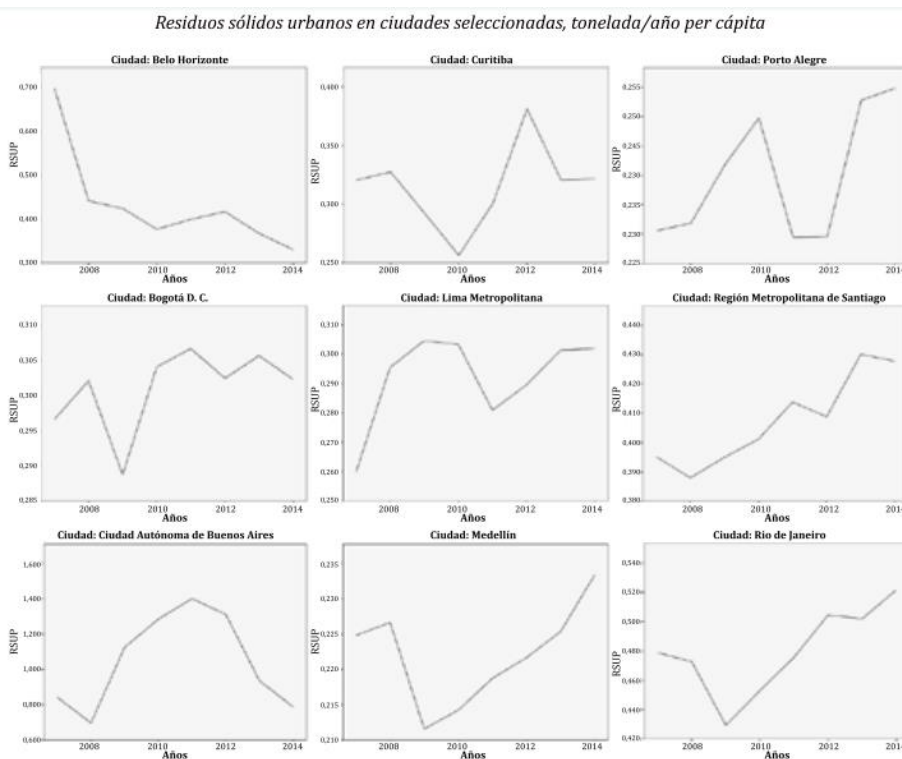
Por otro lado, la relación que tienen los residuos sólidos con la actividad de recolección y transporte la define la normatividad vigente (Ministerio de Vivienda, 2015), en la actividad que se presta en el área de prestación la cual se encarga de recolectar todos los residuos depositados en vía pública; esta actividad se debe cumplir como lo dicta la subsección 3, llamada Recolección y transporte en los artículos del Decreto 1077 de 2015 numerales 2.3.2.2.2.3.26 y 2.3.2.2.2.3.27; estos artículos dan al prestador las pautas necesarias para evitar una emergencia sanitaria por la no recolección de residuos sólidos, con la exposición de estos en vía pública y con apoyo del PGIRS (Plan de gestión integral de residuos sólidos) municipal, (Medellín, 2015) donde se dictamina en conjunto con los líderes gubernamentales la mejor forma de prestar la actividad de recolección y transporte.

La recolección y transporte de residuos tiene una estrecha relación con el crecimiento poblacional como lo describe Sánchez Muñoz, *et al.* 2019, en el cual de manera sintetizada, los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) tienen como fin lograr una adecuada gestión de residuos sólidos. Este cometido cobra una mayor importancia al evidenciar la actual dinámica poblacional donde es evidente para la sociedad una mayor aglomeración de residuos sólidos en todas las ciudades, donde evidentemente se exige una mayor atención a la solución de este tema (Sanchez Muñoz, Cruz Cerón, & Maldonado Espinel, 2019).

Aumento de los residuos sólidos

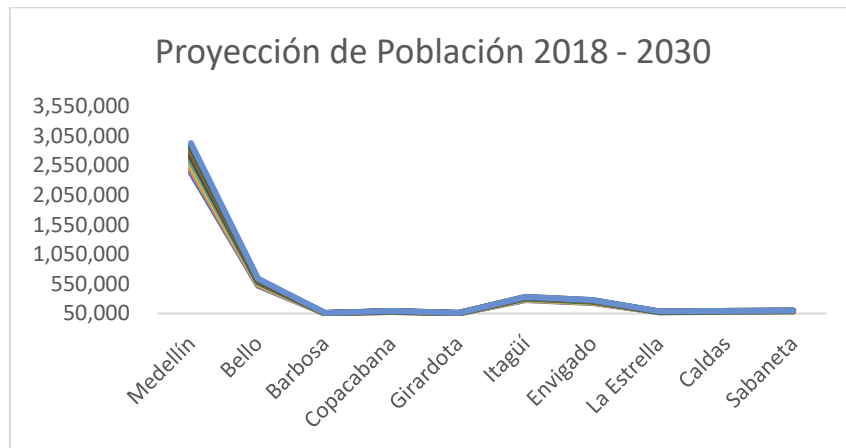
Para abordar el tema sobre el comportamiento que están presentando los residuos sólidos, ver Figura 1, dando un análisis más cercano donde se puede observar el comportamiento por persona en la generación de residuos para las ciudades estudiadas (Sanchez Muñoz, Cruz Cerón, & Maldonado Espinel, 2019). Cada año el aumento de la población es evidente, en la Figura 2, se puede observar cómo aumenta la población para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en cada uno de sus municipios, adicionalmente, podemos observar el crecimiento exponencial en los residuos sólidos como en la población de los municipios.

Figura 1 Residuos Sólidos Urbanos



Fuente: (Sanchez Muñoz, Cruz Cerón, & Maldonado Espinel, 2019)

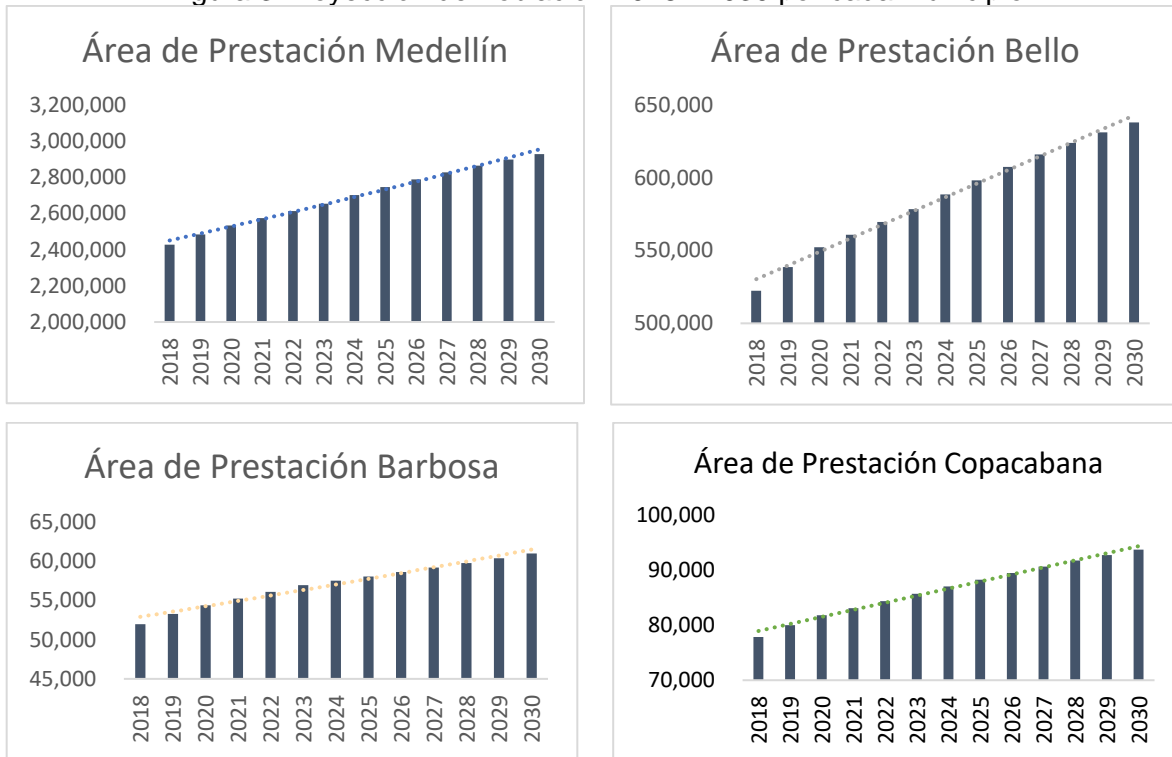
Figura 2. Proyecciones Poblacionales Área Metropolitana del Valle de Aburrá

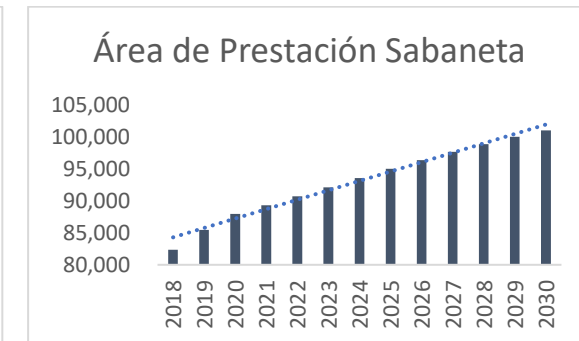
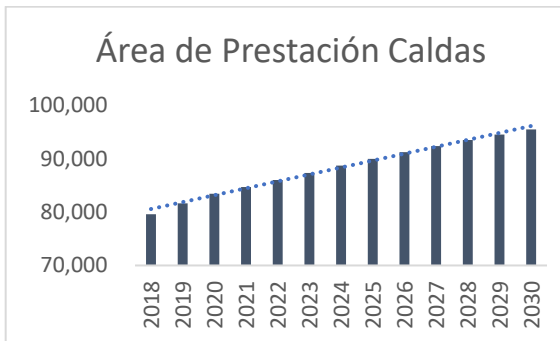
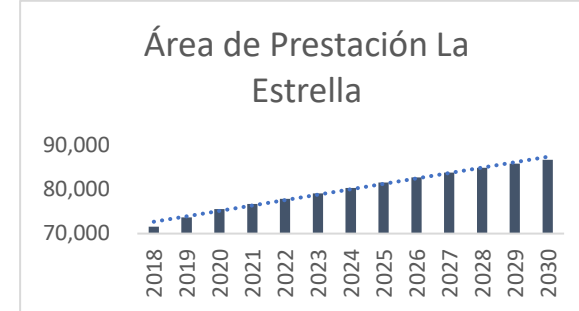
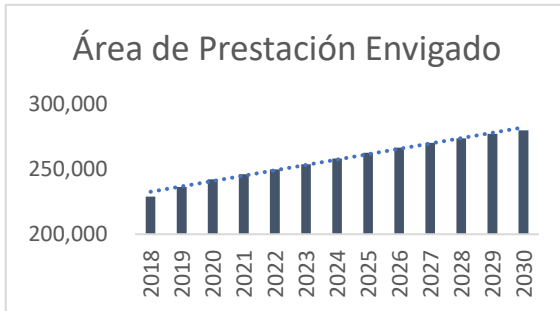
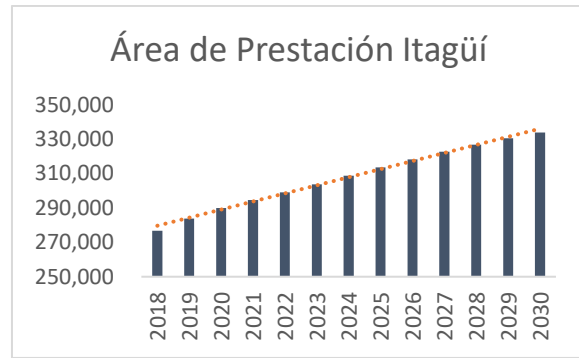
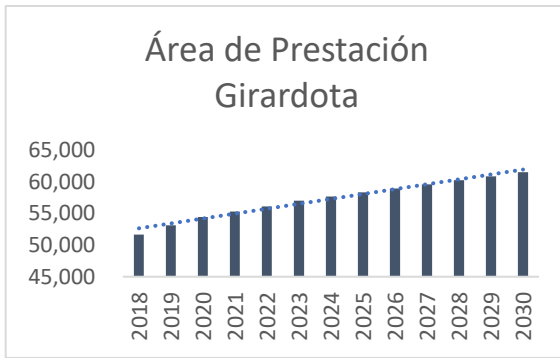


Fuente: DANE/Proyecciones poblacionales

A continuación, en la Figura 3 se desagrega el detalle por cada uno de los municipios. Se evidencia la tendencia exponencial de crecimiento para cada uno de los municipios, impactando en mayor medida a la generación de residuos, siendo esto un factor que altera toda la logística y planeación de cada prestador del servicio público de aseo.

Figura 3 Proyección de Población 2018 - 2030 por cada Municipio





Fuente: DANE/Proyecciones poblacionales

Para el 2030 de acuerdo con las figuras anteriores la capacidad de recolección de cada prestador debe ajustarse a la cantidad de población que tiene, pues las actuales medidas para la prestación del servicio no darían abasto para el crecimiento futuro.

Logística Urbana

Según Betanzo *et al*, la logística urbana comprende aquellos movimientos y planeación que debe tener los operadores del servicio para cumplir con las actividades de acuerdo con su área de prestación, siendo el caso de la recolección y transporte de residuos sólidos, donde se evidencia lo cambiante que es esta dinámica y presenta muchas posibilidades de alteraciones que afectan el resultado de la eficiencia, eficacia y calidad del servicio (Betanzo, Torres, Romero, & Obregón, 2015).

En la Figura 4 el autor Betanzo *et al.* especifica el proceso de la actividad de recolección y transporte. Lo señalado en rojo, representa dónde se realizará la mejora en la propuesta que representa este trabajo, puesto que la logística de las ciudades y principalmente en las diez áreas de prestación en las que se trabajará realizan una recolección mixta de residuos dado que la separación de residuos en la fuente para realizar aprovechamiento no es posible de manera eficaz aún en el Valle de Aburrá.

Figura 4 Evaluación de Rutas de Recolección

EVALUACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RSU CON GPS



Fuente: (Betanzo, Torres, Romero, & Obregón, 2015)

Lo anterior, de acuerdo con Sánchez *et al.*, el objetivo de cada ciudad es recircular los residuos para que hagan parte de la cadena productiva, pero la logística de aprovechamiento en Colombia no es suficiente y no tiene programas eficientes que permitan recircular el material aprovechable (Sanchez Muñoz, Cruz Cerón, & Maldonado Espinel, 2019).

Es por esto, por lo que la logística en la actividad de recolección y transporte es importante para las ciudades, pues es la que permite mapear cada uno de los sectores y poder realizar un adecuado control, recolección, transporte y disposición de estos residuos.

Montañez *et al.*, propuso un apoyo con equipos inalámbricos de sensores instalados en contenedores para la planeación de rutas de recolección en la ciudad de Bogotá. El sistema de contenerización, es aquel en el que se instalan contenedores en puntos específicos de la ciudad para mejorar la recolección de residuos y hacerla más eficiente; sin embargo, para

el Área Metropolitana del Valle de Aburrá no es aplicable, dado que Medellín es una de las ciudades que implementó un plan de contenerización, pero este está aún en aplicación y no sería aplicable pues no abarca toda la necesidad de la población del valle de Aburrá (Montañez Gomez, 2020).

Según Betanzo, Montañez, Sánchez *et al*, anteriormente mencionados, evidencian que las problemáticas actuales de ciudad no son ajenas para otras ciudades o países, esto conlleva a generar una conclusión general en la parte logística para cada prestador del servicio que ayude a evidenciar cuándo es el mejor momento de actualizar toda la información para que la recolección se haga de manera eficiente.

Calibración de Rutas

La calibración, es la terminología de acuerdo con la RAE (Real Academia Española), que permite “*Ajustar, con la mayor exactitud posible, las indicaciones de un instrumento de medida con respecto a un patrón de referencia.*” Esto aplica para la calibración de rutas de servicios de recolección de residuos, dado que se pretende ajustar la planeación del servicio permitiendo que cada vehículo recolector realice de manera eficiente y con el mínimo impacto posible en la sociedad, la actividad de recolección.

Pabon Contreras, 2019, propone una actualización de datos geográficos, de población del servicio que permita que en la ciudad de Ocaña se preste el servicio de manera adecuada, donde menciona varias problemáticas muy similares a las del Valle de Aburrá como son acopios de residuos no autorizados por disposición en lugares y en horarios no establecidos por el prestador, como también retrasos en la operación por baja calidad de la planeación de las rutas.

La calibración de rutas tiene en cuenta todos los datos necesarios como la población, los sectores de la ciudad de difícil acceso, los tiempos y movimientos para la actividad; logrando determinar qué capacidad de vehículos deben tener las empresas para prestar el servicio público de aseo, datos que cambian cada año de acuerdo con el crecimiento poblacional y por tanto, la planeación del servicio debe ajustarse a las necesidades de ciudad.

Incultura ciudadana

Por otro lado, es indispensable hablar de la falta de cultura en las ciudades, por el alto impacto que estas traen para los prestadores del servicio como, por ejemplo, la contaminación del suelo, aire y agua. Esto se debe a que personas inescrupulosas sacan sus residuos en días y horarios no establecidos por el prestador, ocasionando acopios de basuras clandestinos y convirtiendo estos acopios en proliferación de olores y aumento de roedores en estos puntos, que derivan en problemas de salud pública en los habitantes cercanos a estos puntos.

Si bien la ciudadanía responsabiliza al prestador del servicio por estos acopios clandestinos, como se puede observar en la Figura 5, el abandono de residuos de construcción y demolición (escombros), en conjunto con residuos ordinarios ubicados en zona verde por parte de la ciudadanía, lo que genera la proliferación de olores y roedores que alteran la salud pública de los ciudadanos que habitan cerca.

Figura 5 Acopios Clandestinos de Basura



Fuente: Propia (Vereda el Cerro – Santa Elena)

Para los prestadores del servicio, la atención de estos acopios es una alteración a la planeación de rutas y requiere más recursos logísticos realizar la recolección de estos residuos, dado que como se observa en la ilustración, también hay residuos de construcción y demolición los cuales no van a un relleno sanitario sino a lugares donde se realiza la disposición de este material, el cual tiene un tratamiento diferente según la normatividad vigente. (Ministerio de Vivienda, 2015).

De acuerdo con el PGIRS (Plan de gestión integral de residuos sólidos) del Valle de Aburrá, hay compromisos para cada ciudad en realizar campañas de educación para todas las comunidades, en las que se pretende sensibilizar a la ciudadanía del impacto que tiene arrojar residuos en horarios y días no establecidos por los prestadores, como también incentivar a todas las viviendas posibles en la separación de residuos. Sin embargo, el tema de residuos aprovechables, como se mencionó anteriormente, para el Valle de Aburrá es complejo pues no existen rutas selectivas que permitan realizar la recolección de estos residuos. (Aburrá, 2006).

Sección 1.3 Objetivos General y Específicos

General

Desarrollar un modelo para mejorar la recolección y transporte de residuos sólidos en la planeación de rutas y servicios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Específicos

1. Caracterizar los datos relacionados con la recolección y transporte de residuos sólidos y la población del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
2. Modelar la actividad de recolección y transporte para mejorar la planeación de las rutas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
3. Validar el modelo de la actividad de recolección y transporte que mejore la planeación de las rutas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Sección 1.4 Metodología

Moine *et al.*(2011), describe las técnicas de *Data Science* para la optimización de datos en la actividad de recolección y transporte del servicio público de aseo, aplicando la

metodología CRISP-DM puede llevar no solo a una optimización sino a conocer todos los procesos necesarios que se pueden excluir, mejorar o automatizar, al ser procesos manuales donde se pueden presentar errores humanos. Lo anterior demuestra que se puede extraer toda la información necesaria para la actividad a evaluar en el modelo a implementar. (Moine, Haedo, & Gordillo, 2011).

Tierney *et al.*(2018), dice que para la investigación se aporta una serie de datos a comprender, los cuales para la estructuración de la información que genera cada organización en el día a día, requiere entender que no son solo los datos que generan valor, en el caso de los pesos recolectados, también es la forma en cómo se genera este tipo de información, entender el negocio y la actividad que se está realizando, este conocimiento de la actividad como tal, hace descubrir que la actividad de recolección y transporte de residuos sólidos, en cumplimiento con el Decreto 1077 del 2015, también hace parte de los micro procesos del negocio dentro de la actividad como lo son:

- El despacho vehicular
- El diseño de la ruta en el sector de recolección
- El seguimiento por GPS de la ruta
- Las dificultades que se pueden generar en la recolección.
- El desplazamiento del sector a disposición final
- El desplazamiento de disposición final a base de operaciones.

La metodología en la preparación de los datos, mencionadas por Provost *et al*, mencionan la importancia de centrarse en la idea principal de lo que se requiere, el analista en su investigación considerará la información que se obtiene de los procesos mencionados, es decir, cada dato generado del cumplimiento de una ruta es la información necesaria para crear un caso de estudio que permita definir la cantidad de atributos para la mejora (Provost & Fawcett, 2013).

La ejecución de una ruta suministra información obtenida con el seguimiento del GPS, disposición final en sus toneladas recolectadas, horas de salida y entrada a la Base de Operaciones; generando así, los insumos suficientes para determinar en cuantos kilómetros de recorrido se llena el vehículo y permitiendo generar una comparación de cumplimiento de rutas versus toneladas recolectadas, con lo anterior, se puede realizar la siguiente pregunta ¿la capacidad del vehículo está sujeta al crecimiento vegetativo de la ciudad en su generación de residuos?, según Zúñiga, es importante enfocarse en estas primeras

fases, dado que el éxito del modelo radica en el éxito del entendimiento de lo que se realizará. (Zuñiga, 2020).

Para esto, cada empresa del sector público de aseo, en el caso ideal, podrá desarrollar alertas tempranas para generar oportunidades en la actualización de las rutas o diseños en paralelo al crecimiento de la ciudad, evitando sobrecarga vehicular y a su vez, aumentando la vida útil de los vehículos y una falta de disponibilidad de este, lo que traduce en una prestación del servicio con calidad.

La preparación de los datos luego de estas dos primeras fases de recolección de la información, así como todos los procesos y subprocesos de la actividad relacionada, inicia con la limpieza de estos, para adaptarlos al modelo que se está preparando. Como lo menciona el autor Gallardo, esta fase está relacionada con el modelo a implementar para la actividad, debido a que allí se engranan todos los datos que no se toman en consideración. (Gallardo Arancibia, 2010).

A continuación, se procede a realizar la modelación de los datos, tomando en cuenta las fases necesarias como lo referencia Moine *et al*. Al aplicar las diversas técnicas de minería sobre las bases de datos se puede obtener la información sesgada u oculta identificando patrones implícitos en ella. Siendo así, el modelo implementaría una de las características de la *data warehouse* como lo es la unificación. (Moine, Haedo, & Gordillo, 2011).

Entender la metodología como también los elementos que caracterizan un *data warehouse*, como es la unificación de la información, es importante señalar lo que indica Salcedo *et al*, puesto que no importa cómo se encuentre la base de datos, toda la información de la salida de la operación, el cumplimiento de la ruta, el ingreso a disposición final y el retorno a la base vehicular se integran en un almacén de datos y no como datos desintegrados. (Salcedo Parra, Galeano, & Rodriguez, 2010).

Una vez realizado el *data warehouse*, se realiza un plan de prueba para el modelo a implementar en el caso de estudio, se debe tener un procedimiento que genere calidad y validez al mismo. Según Galán, la minería de datos hace parte de la clasificación, donde el error hace parte de la medida de calidad, realizando esto a las fases del proceso se podrá

aplicar el modelo al caso de estudio donde de esta manera se verificaría la efectividad de la calidad y la validez de este. (Galán Cortina, 2015).

La evaluación del modelo pretende verificar el grado de acercamiento del modelo con los objetivos expuestos en la investigación. Como lo indica Vallalta, en esta fase se verifica si la minería y la preparación de datos realizados en las primeras fases de la metodología si se realizaron de la manera adecuada. (Vallalta Rueda).

En la última fase de esta metodología se realiza el lanzamiento del modelo, donde IBM (International Business Machines) recomienda un despliegue de información, que para el caso de estudio mostraría a los demás prestadores del servicio público de aseo, con el fin de que estos puedan replicar las mejoras de la actividad de recolección y transporte de residuos sólidos para cada una de las ciudades del Valle de Aburrá, con sus respectivos datos de control. (IBM).

Finalmente, se genera un modelo que sea autónomo y con las alertas necesarias para optimizar la operación, definiendo desgaste de vehículos, oportunidades en la renovación o cambios en la flota vehicular. En el panorama actual se realiza de manera manual, obligando a los prestadores a hacer uso de herramientas básicas y manuales para determinar el momento de actualizar las frecuencias, horarios y recorridos para cumplir con el programa de prestación del servicio, la normatividad vigente y evitar sanciones ante los entes regulatorios.

Sección 1.5 Orden del trabajo

A continuación, se presentará como se alcanzarán los temas a tratar para lograr acercar el modelo a la realidad del servicio público de aseo.

En el capítulo dos se definirá la caracterización de la actividad de recolección y transporte, el panorama actual en las fuentes de datos y su estadística descriptiva en todos aquellos componentes que interfieren con la actividad como lo es la población, el comercio informal y formal, las proyecciones poblacionales de residuos y demás datos estadísticos históricos que se han adquirido para caracterizar y entender el servicio público de aseo.

En el capítulo tres se analizarán los datos, sus fuentes de datos y se realizarán modelos sobre la actividad de recolección y transporte, con el fin de evidenciar donde se deben poner los puntos de control en la actividad, donde están los vacíos en la ejecución de los procesos, lo anterior para realizar una adecuada planeación del servicio cumpliendo con la normatividad y evitando costos innecesarios por tiempos muertos. El modelo se validará teniendo en cuenta los casos extremos en la recolección tomando la realización de la actividad como base principal para confrontar el modelo con la realidad.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN EN LA RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL VALLE DE ABURRÁ

Sección 2.1. Introducción al primer objetivo específico

Para la actividad de recolección y transporte se deben tener en cuenta todas las actividades que hacen parte del proceso y todos los agentes involucrados en este, con el fin de desagregar los componentes y de esta manera identificar los responsables o los puntos de control que deben ser necesarios dentro del proceso. Esta actividad inicia con un proceso llamado planeación, posterior a esto se tiene la programación y finalmente la parte de control y reportes a entes regulatorios.

La planeación de la actividad inicia desde la necesidad del servicio, la cual se define en cada una de las ciudades del área metropolitana del Valle de Aburrá según su número de habitantes, los habitantes por vivienda, las características cartográficas de cada ciudad y barrios, luego se realiza una proyección sobre la generación de residuos por cada sector y vivienda, por último, se determina cual es la capacidad vehicular requerida para atender

toda la población cumpliendo con las especificaciones técnicas que exige la normatividad vigente.

Posterior a la planeación se realiza la programación de la actividad definiendo la frecuencia en la que se prestará el servicio. Según el decreto 1077 de 2015 la frecuencia mínima para el prestador es de dos veces por semana en los sectores residenciales, para los sectores comerciales puede prestarse desde una vez hasta siete veces a la semana, esto se define con el cliente comercial y la necesidad del servicio que este requiera; se define cliente comercial a la empresa grande, mediana, pequeña, centro comercial, supermercado, entre otros.

Después de definida la frecuencia se determina el horario de prestación siguiendo las características cartográficas de cada ciudad. Tomando como ejemplo se validan que zonas tienen las vías más angostas y por bloqueos vehiculares no prestarían el servicio en las noches o en las mañanas en las zonas residenciales, este es uno de los puntos de observación que impactan la prestación del servicio y su programación en horarios como en frecuencias.

En la fase de control y reportes a antes de control se tienen los registros de rutas ante la superintendencia de servicios públicos domiciliarios, donde se informa al ente de control cómo será la prestación del servicio, adicionalmente, por norma cada prestador debe publicar al público por medio de medios masivos como ejecutará la actividad y dar a conocer a los ciudadanos de manera pública la programación del servicio.

De acuerdo con la resolución SSPD No. 20174000237705 cada prestador según las actividades del servicio público que realice debe presentar con periodicidad mensual, anual, semestral o eventual reportes ante la SSPD con el fin de cumplir con los objetivos de vigilancia y control para el ente de control.

Cada uno de estos procesos afecta directamente la prestación de la actividad y más desde una adecuada planeación del servicio, por lo tanto, en la sección 2.2 se presenta el análisis estadístico de cada uno de los componentes para una correcta planeación.

Sección 2.2. Materiales y métodos

La problemática de residuos sólidos es un tema de país por el alto impacto que tiene el no aprovechamiento de los residuos, los cuales son dispuestos en rellenos sanitarios rompiendo el círculo de reutilización para muchos de estos; por esto, para dar respuesta a una de las preguntas del presente proyecto ¿Cómo saber si la población objeto de estudio creció o disminuyó?, se requiere analizar de fondo los datos a utilizar de la siguiente manera.

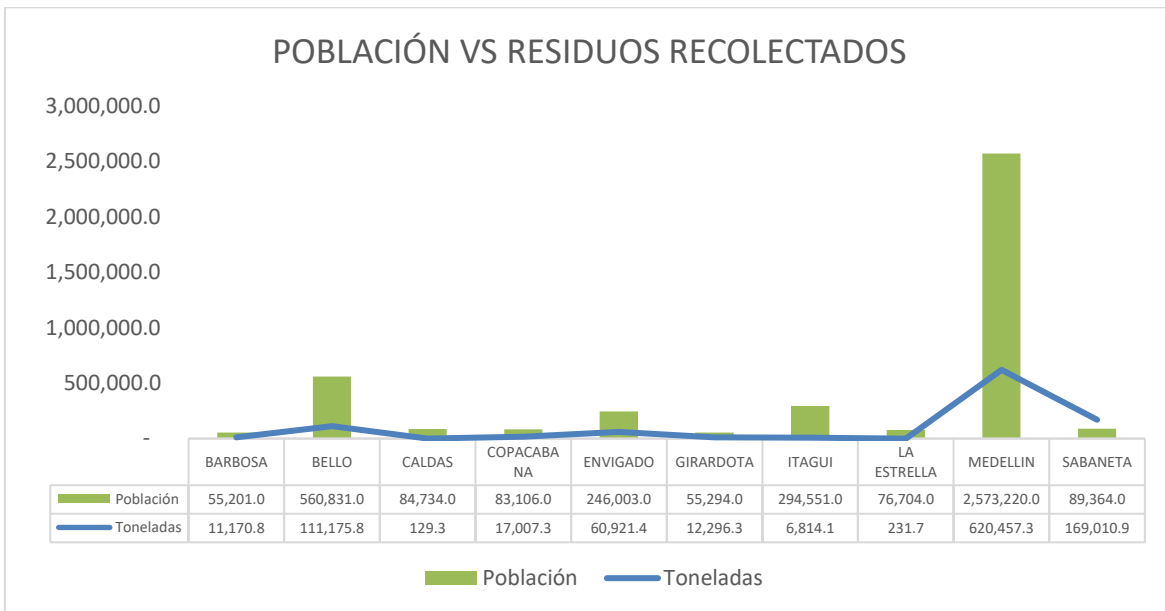
Se tomaron las toneladas generadas desde el año 2016 por cada uno de los municipios del área metropolitana de la fuente de datos abiertos del SUI (sistema único de información), la densidad poblacional de cada municipio tomados de las proyecciones del SEN (sistema estadístico nacional), la producción *per cápita* de residuos por persona generada por los PGIRS municipales, el número de hogares por cada Municipio tomados de las proyecciones del SEN, que hacen parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, de esta manera se modelará con la información real municipal.

Lo anterior, permite tener un conocimiento en detalle del panorama de cada uno de los datos. A continuación se analizarán cada una de las variables.

Densidad poblacional

Esta permite visualizar la relación entre el crecimiento de residuos por cada habitante, como indica (Avila S. L., *et al*, 2011) se deben analizar los datos donde se observa que el crecimiento es proporcional con los residuos, de esta manera se estimará el crecimiento para cada localidad. Un ejemplo de esto es lo que se observa en la Figura 6.

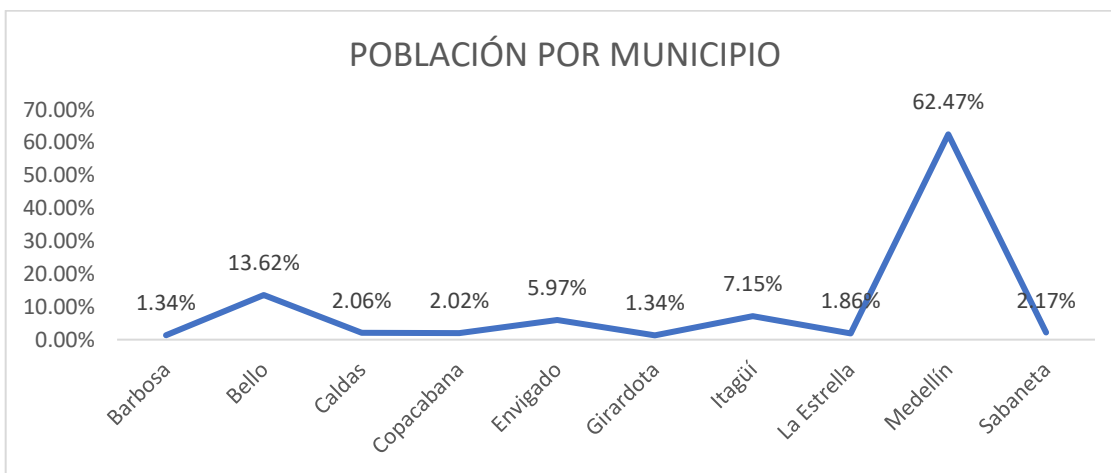
Figura 6. Generación de residuos versus población por municipio



Fuente de datos: sistema único de información – SUI y DANE

Cómo se puede observar en la Figura 6 la densidad poblacional para el Municipio de Medellín es mayor en comparación al resto de la población del valle de Aburrá, lo cual también muestra que la generación de residuos para este municipio es mayor. Para una mejor comprensión se presenta la Figura 7 la cual representa la proporción de habitantes por municipio.

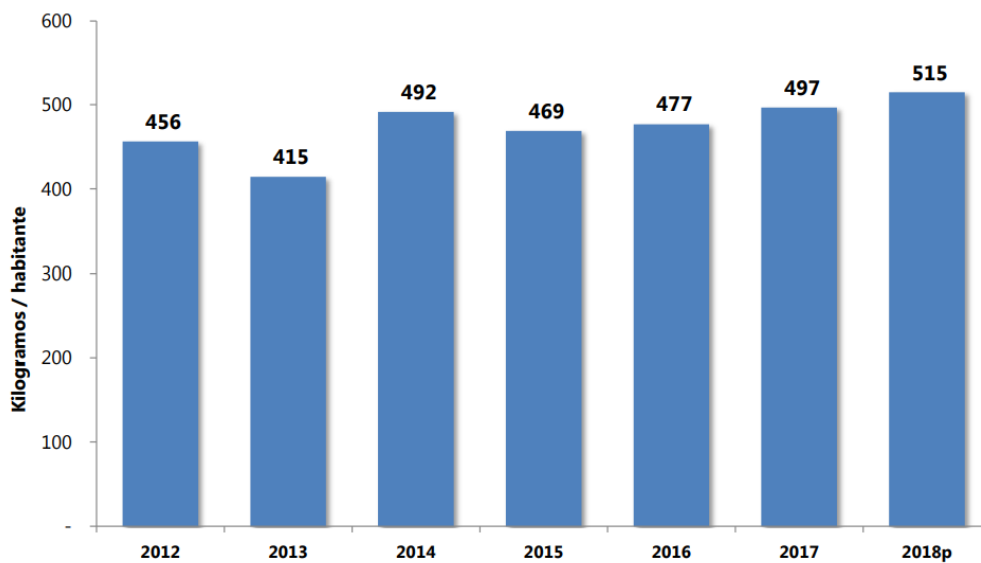
Figura 7. Población por municipio del Valle de Aburrá



Fuente: DANE/Proyecciones poblacionales

De acuerdo con los datos poblacionales del SEN junto con las toneladas generadas por cada municipio, se estima que la producción *per cápita* por población es de 4.15 Toneladas/año; sin embargo el DANE realizó un estudio poblacional que indica que para el 2018 la producción se estimaba en 0.515 Toneladas/año por persona. Se anexa Figura 8. datos históricos del crecimiento de la producción de residuos por población, donde se evidencia un crecimiento exponencial de los residuos como menciona el autor (Polanco & Garcia, 2019) la producción de residuos por habitante depende de sus hábitos de consumo, su nivel de ingresos e incluso la época del año.

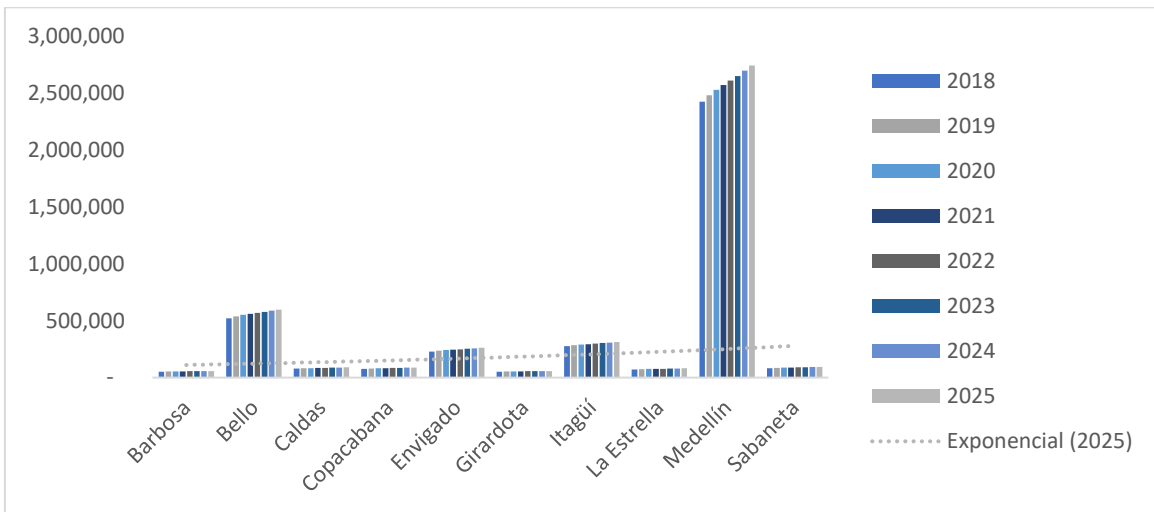
Figura 8. Producción *per cápita* de residuos sólidos por habitante



Fuente: DANE/Cuentas nacionales

Al realizar la relación entre la población y la generación de residuos sólidos vemos que la problemática será mayor en cuanto al crecimiento poblacional que se puede evidenciar en la Figura 9, donde se observa el comportamiento desde el 2018 y la proyección para los próximos dos años, mostrando un crecimiento exponencial para los municipios del área metropolitana.

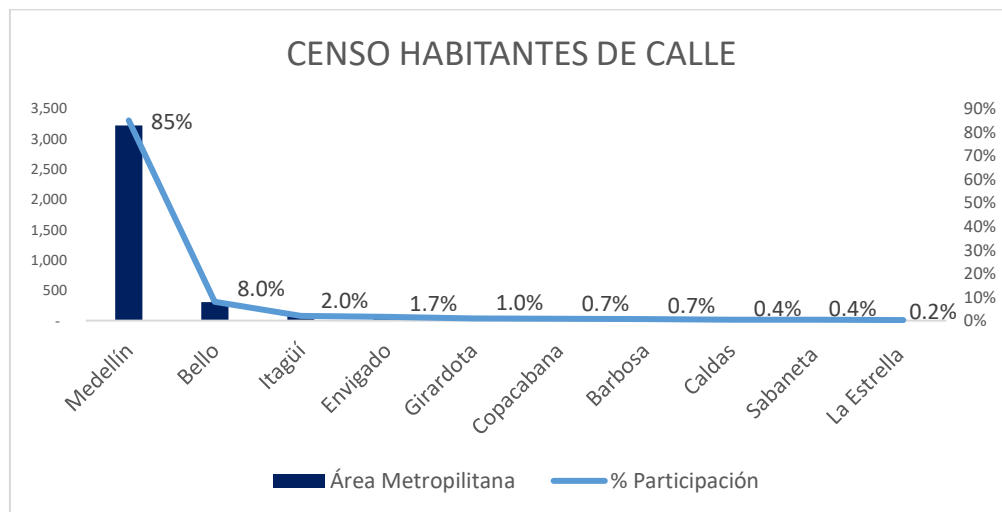
Figura 9. Proyección poblacional por municipio del AMVA



Fuente: DANE – Proyecciones poblacionales

Además, al agregar el componente social de cada uno de los municipios se obtienen más residuos por la falta de cultura ciudadana que hay en el país asociada a la población migrante, transeúntes, el comercio informal, la población de habitantes en condición de calle que se evidencia en la Figura 10, entre otras problemáticas de ciudad, lo que convierte la problemática en un tema que resolver y controlar.

Figura 10. Censo de habitantes en condición de calle



Fuente: (DANE, 2019)

La ciudad de Medellín de acuerdo con la Figura 10. es la que en proporción tiene más habitantes de calle, los cuales buscan en los residuos alimento o material aprovechable que

puedan vender, generando desorden y regueros de residuos como se puede observar en la Figura 11.

En Colombia, para el año 2019 había un total de 22.790 habitantes de calle censados, en el área Metropolitana un total de 3.788 un 16.6% de la población total, siendo Medellín quien representa el 85% con más habitantes de calle en toda el Área Metropolitana, como se evidencia en la Figura 10.

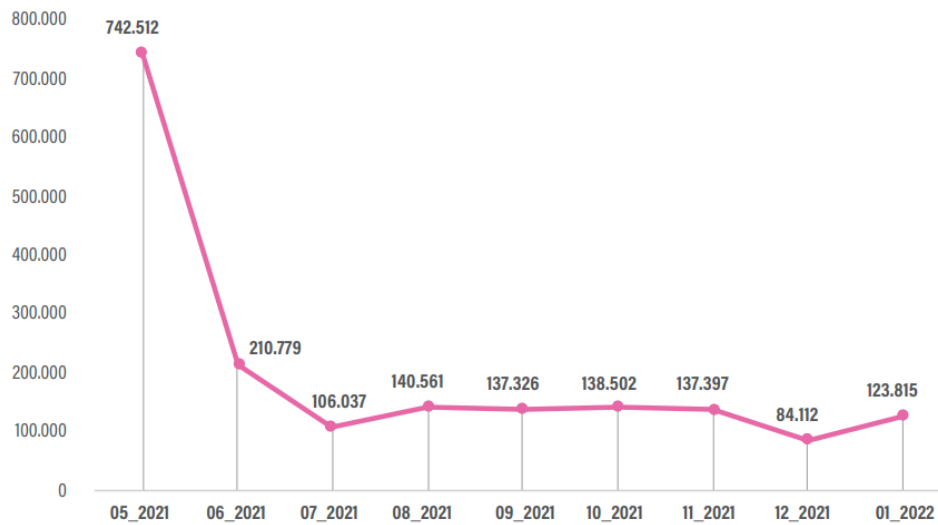
Figura 11. Sector la paz - municipio de Medellín



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la Figura 12, la población migrante que se encuentra en el país también es participe de la generación de los residuos sólidos haciendo una problemática de ciudad dado que la cultura de las personas migrantes es diferente a cada una de las ciudades donde se hospedan.

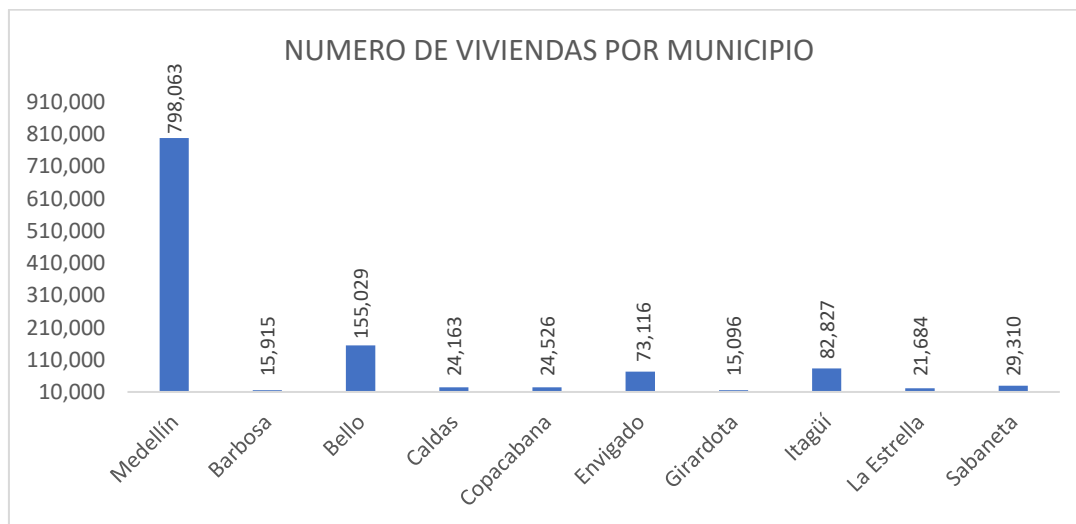
Figura 12. Número personas pre-registrados en el Registro Único de Migrantes Venezolanos



Fuente: DANE/ Migración Colombia

Al comparar el número de viviendas por cada municipio (Ver Figura 13), se puede identificar que Medellín es quien tiene la mayor proporción, lo cual permite explicar por qué Medellín es el municipio con mayor generación de residuos del Área Metropolitana, como también se puede observar que Antioquia es uno de los departamentos con mayores unidades económicas con respecto al resto de departamentos del país después de Bogotá (ver Figuras 15).

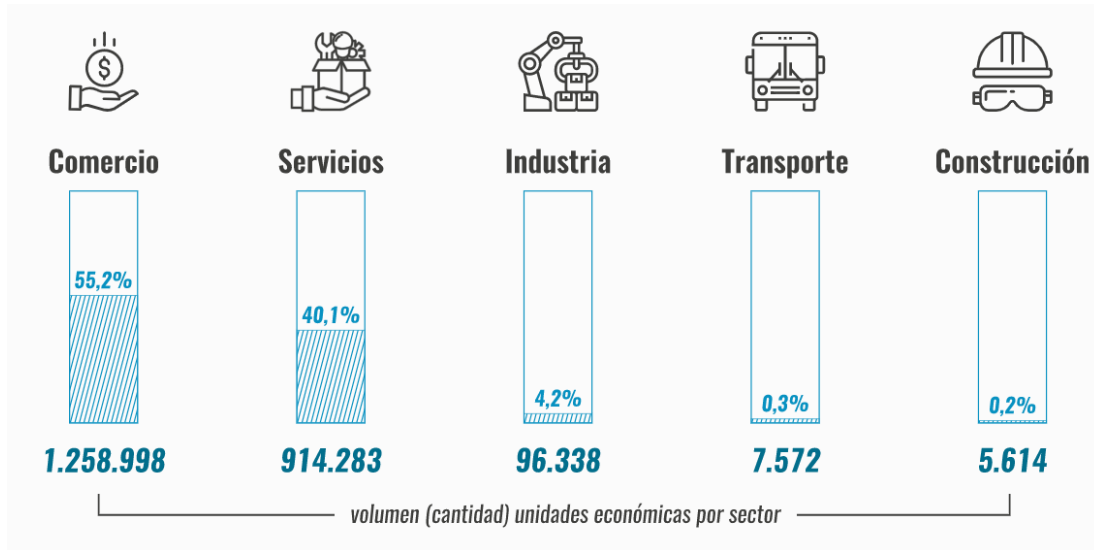
Figura 13. Viviendas por Municipio



Fuente: DANE – Cuadros Viviendas

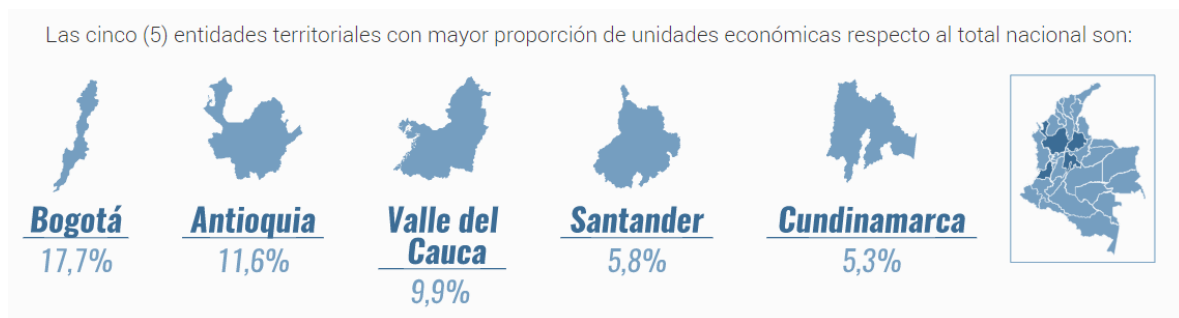
Dependiendo del sector económico es su generación de residuos, Figura 14 y Figura 15; sin embargo, se puede deducir que el sector comercial es el de mayor impacto en temas de residuos por su alta concentración en el país.

Figura 14. Cantidad unidades económicas por sector



Fuente: DANE/Comercio interno

Figura 15. Información por territorio



Fuente: DANE/Comercio interno

Todo lo anterior, permitirá realizar una proyección en el tiempo por Municipio donde se deberán incluir las variables mencionadas para obtener los datos ajustados y definir para cada prestador la necesidad del recurso para atender la demanda del servicio.

Sección 2.3. Conclusiones

Se puede evidenciar que los datos proyectados por población, por residencia, por comercios son muy dinámicos, dicha variabilidad impacta directamente la prestación de la actividad lo cual hace que cada prestador tenga una operación dinámica ya sea por disminución o aumento en el servicio; lo anterior, con el fin de no sobre cargar los vehículos y manejar un promedio que impacte de manera positiva en el cuidado de la vida útil de los carros recolectores, ejecutando la actividad con calidad y continuidad en el servicio.

Los datos demuestran que las proyecciones poblacionales son muy lineales con excepción de los municipios de Medellín y de Bello, esto abre una pregunta adicional ¿si hay una relación directa en la población con los residuos? este análisis debe hacerse con más detalle sobre la producción *per cápita* por habitante, pues año a año se evidencia un crecimiento en las toneladas recolectadas; sin embargo, los datos poblacionales no demuestran un crecimiento similar.

CAPITULO 3. MODELO PARA ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL VALLE DE ABURRÁ.

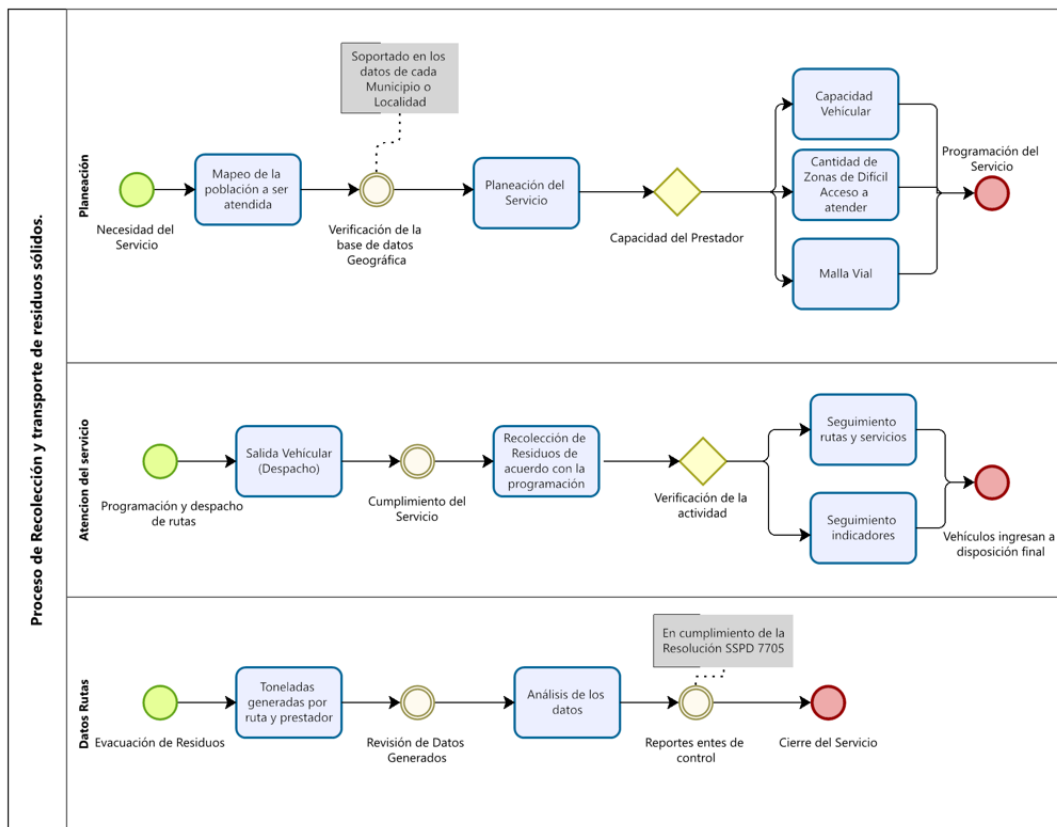
Sección 3.1. Introducción

Por medio del siguiente modelo se evidencian los puntos de control en los que se debe poner mayor atención, dado que son estos los que generan demoras en la prestación del servicio y daños en la flota vehicular, generando una mala percepción del servicio en los ciudadanos; por esto se simularán alternativas tomando las proyecciones para identificar la dependencia de los datos.

Sección 3.2. Materiales y métodos

Para entender mejor el ciclo del proceso para la actividad de recolección y transporte se presenta la Figura 16, donde se puede observar cada una de las estaciones desde la planeación hasta el cierre de la actividad en disposición final donde se verifican los datos y se hacen los reportes a los entes de control, de esta manera cada prestador tiene una línea básica y clara para la prestación del servicio.

Figura 16. Flujo de proceso para la actividad de recolección y transporte

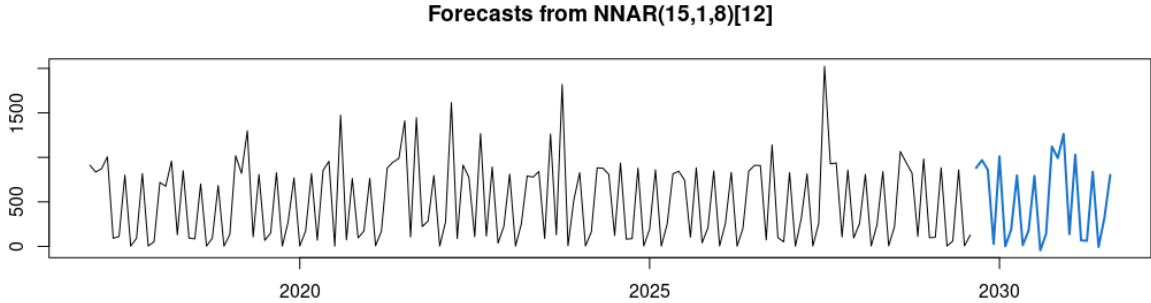


Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, teniendo en cuenta los datos recolectados para la actividad de disposición de residuos en los rellenos sanitarios, se procede a realizar dos series de tiempo para revisar el comportamiento de los datos, entre el Municipio de Medellín y el Municipio de Barbosa escogidos aleatoriamente pertenecientes al Valle de Aburrá, aplicando el Modelo Arima para definir la estacionariedad de los datos, ver Figura 17 y 20.

Como se puede observar en la Figura 17, se ve una periodicidad en los datos; sin embargo, no es relevante el comportamiento de los datos al mostrarlos de una manera estática en su comportamiento.

Figura 17. Modelo NNAR Municipio Barbosa



Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado en el Figura 18, se evidencia la serie de tiempo de cada uno de los periodos para el municipio de Barbosa, donde se puede evidenciar que los datos tienen una variación mínima en cada periodo entre 600 Toneladas y 1000 Toneladas por mes; sin embargo, también se observan datos dispersos los cuales se deben revisar con detalle para explicar porque están tan alejados de la tendencia, datos que no se revisan en este modelo.

Figura 18. Serie de tiempo toneladas recolectadas Barbosa

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
2017	911.220	834.580	872.600	1006.020	90.975	111.460	801.250	3.493	91.530	818.010
2018	718.660	675.890	957.870	131.178	850.150	92.625	85.090	701.750	3.248	93.100
2019	134.750	1018.090	820.430	1298.390	107.465	807.400	67.588	150.820	827.590	3.353
2020	4.270	173.210	817.220	70.282	854.150	956.120	2.194	1473.630	73.474	762.480
2021	764.510	6.920	171.150	880.700	947.000	988.780	1410.800	106.355	1445.860	223.350
2022	3.885	274.000	1615.780	87.494	913.790	777.260	108.593	1267.920	115.958	891.780
2023	811.220	3.533	252.010	791.570	777.180	841.060	88.909	1261.760	130.032	1818.380
2024	828.020	4.438	161.720	882.470	877.640	809.170	122.704	935.350	81.951	87.400
2025	193.660	860.300	3.305	247.060	815.500	843.960	743.220	102.926	882.790	40.016
2026	5.915	259.150	832.960	2.910	200.840	845.520	910.790	908.610	73.486	1139.690
2027	827.610	1.688	308.320	814.980	4.343	258.470	2022.800	927.230	937.690	106.910
2028	255.300	809.340	4.113	242.000	840.620	5.550	221.780	1066.350	941.620	824.490
2029	97.023	102.620	882.630	4.103	61.030	859.400	5.393	128.300		
	Nov	Dec								
2017	4.243	51.510								
2018	684.390	2.850								
2019	275.150	769.570								
2020	95.183	172.690								
2021	283.580	795.820								
2022	37.093	225.070								
2023	6.750	519.720								
2024	878.700	4.828								
2025	209.700	847.900								
2026	98.370	50.830								
2027	857.530	93.652								
2028	112.996	982.800								
2029										

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, en la Figura 19, se observan los bajos y mínimos por periodos con un índice de confianza inferior al 80% y máximo del 95% generado por el modelo, donde se evidencian movimientos positivos como negativos teniendo en cuenta el histórico de los datos analizados para este municipio.

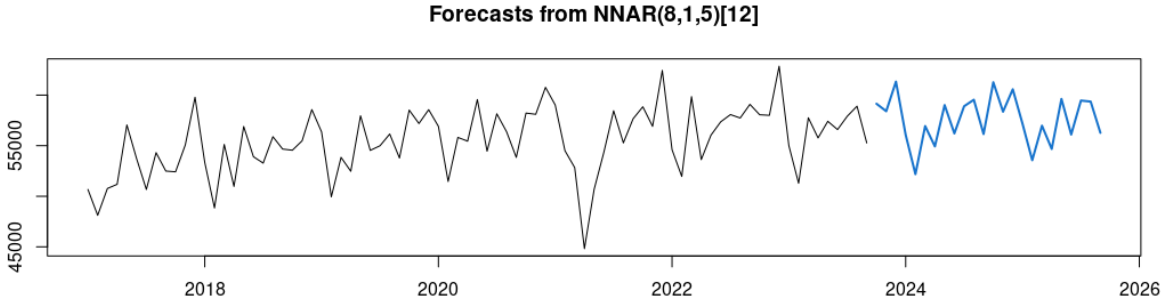
Figura 19 Pronóstico toneladas Barbosa

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Sep 2029	44.90579	-685.7177	775.5293	-1072.486	1162.298
Oct 2029	87.10370	-699.2000	873.4074	-1115.444	1289.651
Nov 2029	52.84360	-914.4068	1020.0940	-1426.438	1532.125
Dec 2029	65.12964	-982.3460	1112.6053	-1536.846	1667.105
Jan 2030	49.07929	-1113.7520	1211.9105	-1729.318	1827.476
Feb 2030	50.27958	-1195.4999	1296.0591	-1854.976	1955.535
Mar 2030	40.97803	-1296.5867	1378.5428	-2004.651	2086.607
Apr 2030	38.06979	-1378.7562	1454.8958	-2128.779	2204.918
May 2030	31.26943	-1465.8962	1528.4350	-2258.448	2320.987
Jun 2030	26.83851	-1544.8778	1598.5548	-2376.894	2430.571

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 20, para el municipio de Medellín hay un comportamiento menos repetitivo demostrando que hay más variación de los datos en todos sus componentes, al ser un municipio con más población migrante, estacionaria y con condiciones menos estáticas, lo que se puede interpretar que para esta localidad los residuos de hoy no dependen de los generados en los días anteriores, dado que estos dependen del día a día como se evidencia en la figura.

Figura 20. Modelo NNAR Municipio Medellín



Fuente: Elaboración propia.

Analizando los resultados presentados en la Figura 21, se observa un comportamiento variable en cada uno de los periodos de tiempo, demostrando que cada mes y año tienen comportamientos diferentes, en el caso del municipio de Medellín se debe hacer un análisis más detallado en el comportamiento de los residuos, ya sea por población o por tipo de comunidad que explique la variabilidad de los datos, análisis que no se realiza en este modelo, por la especificidad de la información.

Figura 21 Serie de tiempo toneladas Medellín

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
2017	50672.12	48118.80	50769.32	51184.78	57048.11	53716.90	50675.48	54311.75	52491.44	52419.67
2018	53346.57	48842.80	55122.67	50972.27	56896.25	53911.52	53276.28	55889.54	54666.52	54553.04
2019	56360.84	49944.42	53846.38	52471.35	57954.42	54537.81	54991.99	56152.66	53783.12	58518.91
2020	56914.24	51460.62	55817.99	55447.55	59561.67	54458.74	58152.29	56385.08	53844.31	58224.17
2021	59023.90	54503.31	52836.35	44822.86	50696.55	54365.20	58451.64	55280.92	57660.92	58847.40
2022	54604.75	51959.32	59849.81	53625.22	56044.80	57360.54	58074.46	57737.09	59087.79	58057.92
2023	55001.66	51287.88	57759.51	55767.76	57411.76	56593.80	57914.16	58906.24	55274.02	
	Nov	Dec								
2017	55072.85	59788.28								
2018	55482.45	58568.58								
2019	57192.96	58560.23								
2020	58104.17	60767.84								
2021	56912.86	62438.81								
2022	58002.40	62858.92								
2023										

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22, hay diferencias de más de dos mil toneladas entre los índices de confianza más bajos y lo más altos, independientemente de que la probabilidad sea de 80% o 95%, en cada uno de los periodos, teniendo promedios que se encuentran entre la media de los índices de confianza para cada periodo de tiempo.

Figura 22. Pronóstico toneladas Medellín

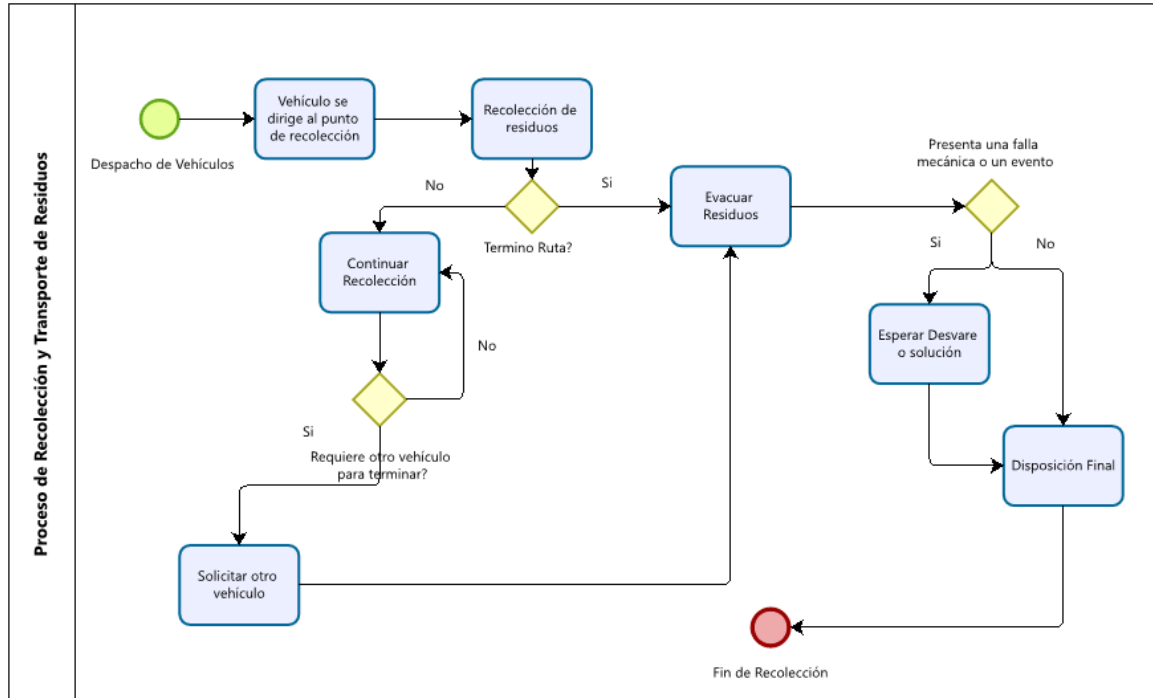
	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
Oct 2023	56779.23	52296.20	61262.27	49923.02	63635.44
Nov 2023	56311.16	51016.92	61605.41	48214.31	64408.02
Dec 2023	56601.03	50248.16	62953.90	46885.16	66316.90
Jan 2024	56599.78	49441.68	63757.87	45652.42	67547.13
Feb 2024	56710.34	48771.28	64649.40	44568.60	68852.08
Mar 2024	56777.95	48127.82	65428.09	43548.71	70007.20
Apr 2024	56862.07	47535.72	66188.41	42598.65	71125.48
May 2024	56939.84	46971.95	66907.73	41695.26	72184.42
Jun 2024	57020.05	46436.44	67603.66	40833.81	73206.29
Jul 2024	57099.32	45922.48	68276.17	40005.82	74192.83

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, en las Figuras 19 y 22 dichos pronósticos no explican en que se basa el comportamiento de las toneladas; se procede a evaluar por medio de un modelo de proceso los datos obtenidos, dado que se requiere un análisis adicional con el fin de conocer mejor el comportamiento de la actividad de recolección y transporte que explique la variabilidad de los datos.

En la Figura 23, se descompone el proceso de recolección y transporte desde su inicio de operación, hasta el final del proceso que es la evacuación de los residuos.

Figura 23 Modelo Proceso de Recolección y Transporte de Residuos



Fuente: Elaboración propia

Se realiza un modelo en la plataforma Bizagi el cual permite revisar uno a uno los componentes y actividades dentro del proceso de recolección y transporte. A continuación, se procede a explicar las actividades para realizar posteriormente la simulación de los datos obtenidos.

Despacho de vehículos: La actividad inicia con una programación de la actividad por rutas, donde cada vehículo del prestador atiende una ruta de recolección de acuerdo con el programa de prestación del servicio. Dicho proceso de cumplimiento inicia con un despacho de cada vehículo en la base de operaciones o en el lugar donde se guarda el parque automotor, antes de salir a cumplir la ruta para efectos de control y seguimiento.

Recolección de residuos: La actividad corresponde al momento en que el vehículo recolector llegó a su ruta (ubicación) de recolección y cumple el recorrido establecido desde la planeación del servicio. La compuerta de decisión de si el vehículo terminó ruta o no

obedece a las casuísticas que tiene cada prestador a la hora de recolectar los residuos, una de ellas es la solicitud de vehículo de apoyo para terminar la ruta porque el vehículo inicial lleno su capacidad, por lo tanto, el vehículo inicial se dirige a evacuar los residuos mientras el vehículo de apoyo termina la ruta y posteriormente realiza la evacuación del resto de los residuos.

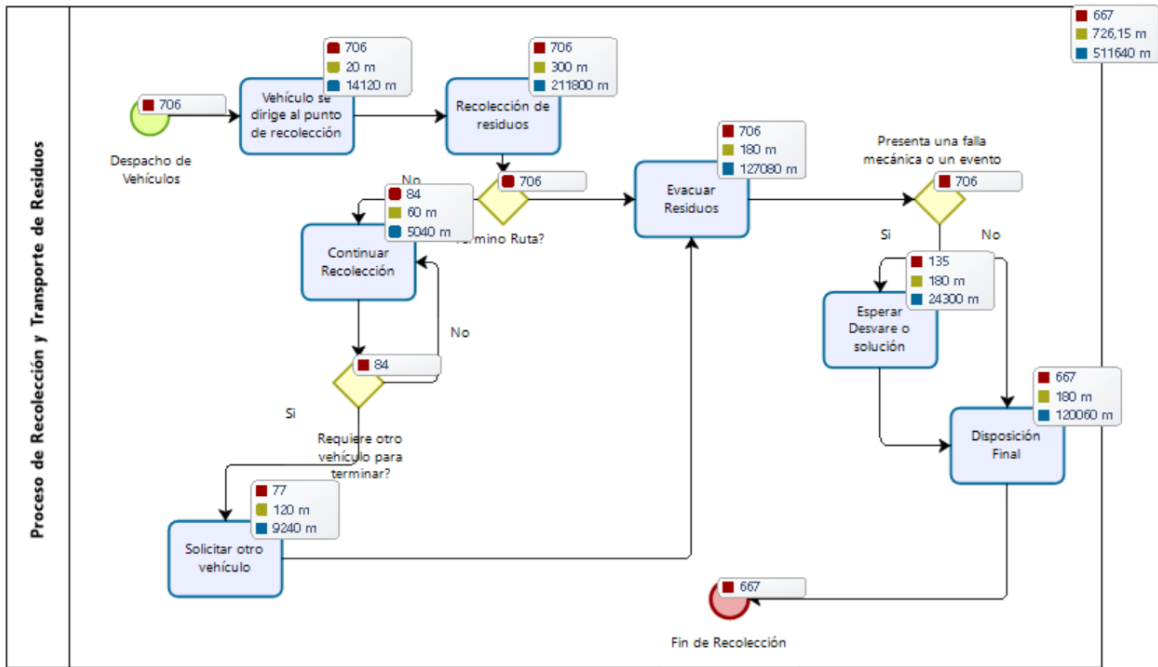
Evacuar residuos: Es la actividad en la que el vehículo recolector finaliza la ruta o el apoyo a la ruta y se dirige al sitio de disposición final. En esta actividad también se abre una compuerta de decisión pues al ser un equipo automotor de uso diario puede presentar fallas mecánicas que incurren en tiempos muertos por espera de una atención, como también se pueden presentar otras variables como eventos de orden público o problemas en la vía al relleno sanitario que interrumpen el recorrido normal de la actividad, por lo tanto, el vehículo deberá esperar una solución para poder disponer los residuos.

Disposición final: Es la actividad donde el vehículo recolector ingresa al relleno sanitario a evacuar los residuos recolectados y en esta actividad finaliza la actividad de recolección de transporte, pues el vehículo se dirigirá de nuevo a su punto de inicio para iniciar de nuevo el proceso.

Como se puede evidenciar es un proceso circular donde el vehículo realiza una recolección, evacua y vuelve a iniciar con el fin de cumplir con el programa de prestación del servicio, para esto se realizaron cuatro escenarios donde la diferencia en estos es el tiempo para la actividad con el fin de encontrar los puntos de alarma donde el proceso se ve lento o amerita una revisión en detalle.

En la Figura 24 se observa el escenario uno el cual se realizó en el programa BizAgi donde se contempló que la actividad de recolección se realice en un día, teniendo en cuenta que en la plataforma SUI (sistema de información único) de la superintendencia de servicios públicos el total de rutas de los prestadores del Valle de Aburrá son 706, por tanto, se puede evidenciar que estas rutas que hay programadas para la frecuencia Lunes – Jueves solo finalizan el recorrido de todo el proceso el 94% (SUI, 2022); sin embargo, se realizaron otros escenarios donde se modela la realidad del servicio pues los prestadores atienden la actividad en un lapso de ocho a doce horas.

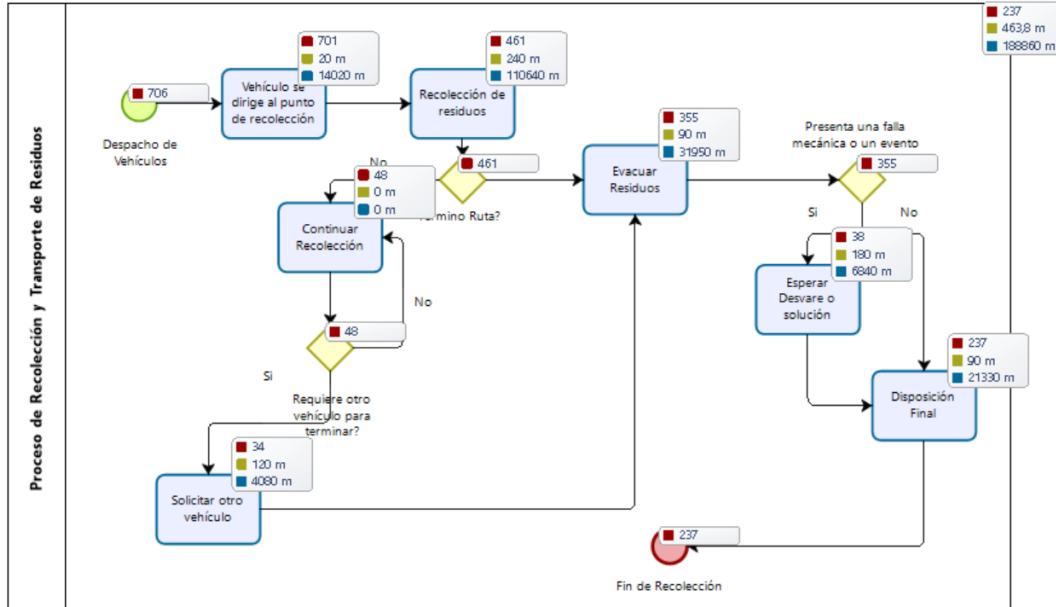
Figura 24 Escenario 1 - Simulación Recolección y transporte



Fuente: Elaboración propia

Para el siguiente escenario representado en la Figura 25, se contempla la actividad para ser realizada en un tiempo de doce horas, como se evidencia en esta el cumplimiento del total de la actividad solo es completado por el 33.5% de las 706 rutas programadas, debido que por las actividades de vehículo de apoyo, en los tiempos que se requiere para asignar un nuevo vehículo y en la espera de desvare o solución de un evento se presenta el aumento del tiempo y explica porque no se finalizan todas las rutas.

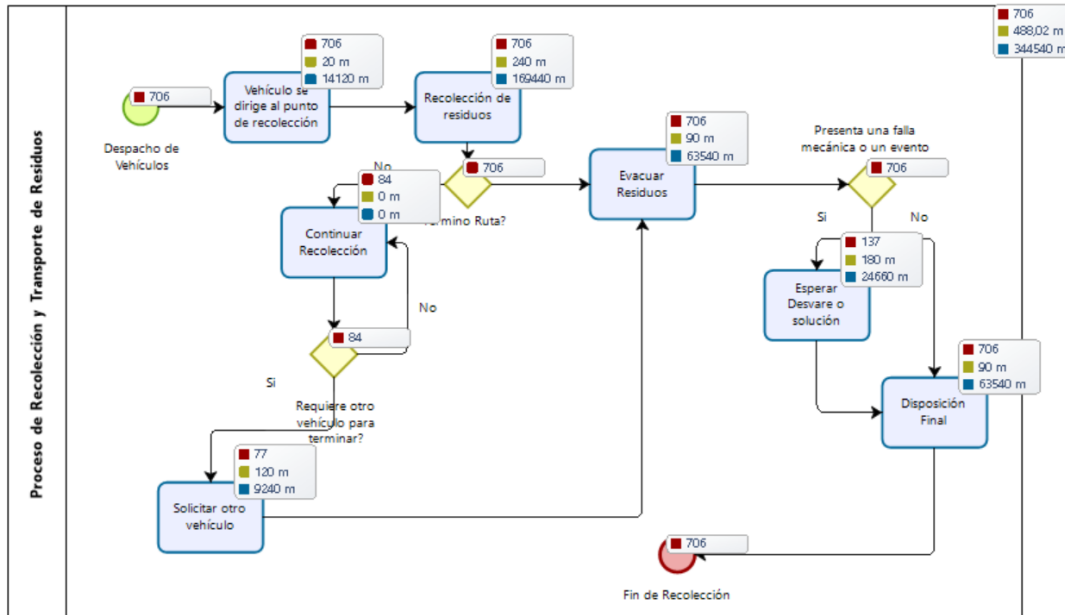
Figura 25 Escenario 2 - Simulación Recolección y Transporte



Fuente: Elaboración propia

Por el contrario a los escenarios uno y dos, en el escenario tres que se observa en la Figura 26 se dejó sin límite de tiempo la ejecución de las rutas hasta el momento en el que el programa finalizó el recorrido de todas éstas para generar un cumplimiento del 100% y analizar cuanto tardaría la programación en finalizar, saliéndose por completo de la realidad en la ejecución del proceso, dado que finalizó el recorrido en tres días.

Figura 26 Escenario 3 - Simulación Recolección y Transporte



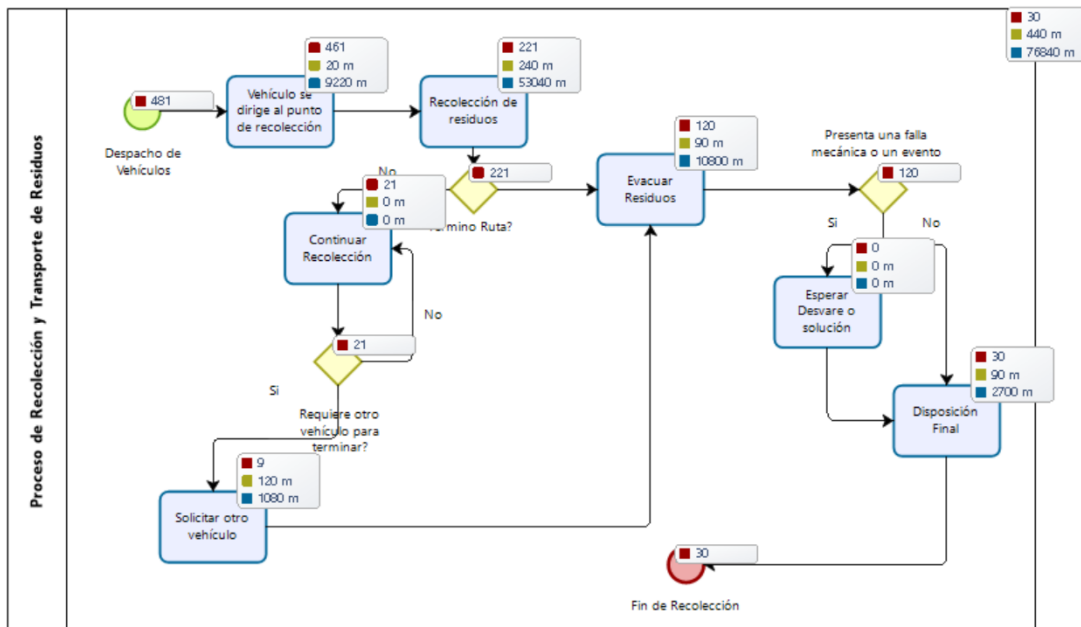
Fuente: Elaboración propia

Para el escenario cuatro se evidencia un panorama más crítico, este escenario se simuló con el cumplimiento de la actividad en ocho horas equivalentes a un turno laboral, Figura 27, este escenario evidencia que no se alcanza a despachar la totalidad de rutas, mostrando una alerta en el ingreso del despacho vehicular y en los puntos de atención ya mencionados, que son la solicitud del vehículo de apoyo y la espera o solución al evento presentado vía al relleno sanitario.

De acuerdo con los escenarios presentados se toman las siguientes variables de atención en la actividad de recolección y transporte:

- Despacho de vehículos
- Solicitar otro vehículo
- Esperar Desvare o solución

Figura 27 Escenario 4 - Simulación Recolección y Transporte



Fuente: Elaboración propia

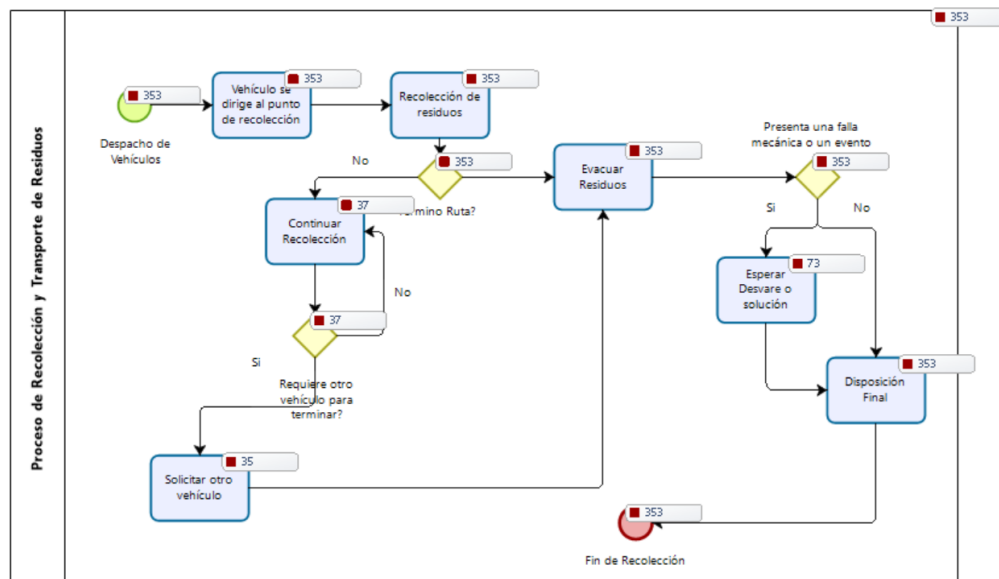
Analizando en detalle estas actividades mencionadas en el modelo y de acuerdo con el SUI el área metropolitana cuenta con seis prestadores del servicio público de aseo, por lo que la actividad del despacho se realizaría de manera simultánea para las áreas de prestación de cada prestador, como también para la solicitud de otro vehículo y esperar desvare o solución. Según la normatividad vigente el Decreto 1077 de 2015 un prestador tiene hasta tres horas para solucionar un evento que obliga la interrupción de la actividad, posterior a este tiempo el prestador deberá realizar las respectivas justificaciones al ente de control por incumplimiento de sus rutas.

Todas estas variables normativas y casuísticas que genera la actividad son las que se toman en cuenta. Para efectos del ejercicio se realizó un modelo plano (en la cual se hace un solo supuesto de un solo prestador del servicio), de acuerdo con la información recolectada en las bases de datos públicas, donde se logra identificar tres puntos de atención para tener en cuenta por el prestador del servicio y realizar una mejora en la prestación de la actividad con calidad y eficiencias operativas.

Sección 3.3. Análisis de sensibilidad

Como evaluación del modelo, en esta sección se realiza, un análisis de sensibilidad tomando varios escenarios con alternativas que pueden ser causales extremas para cada prestador del servicio público de aseo; por ejemplo, en la Figura 28, se puede observar que hay menos datos de entrada en las simulaciones del modelo, reducidas a la mitad pasando de 706 rutas a 353, así:

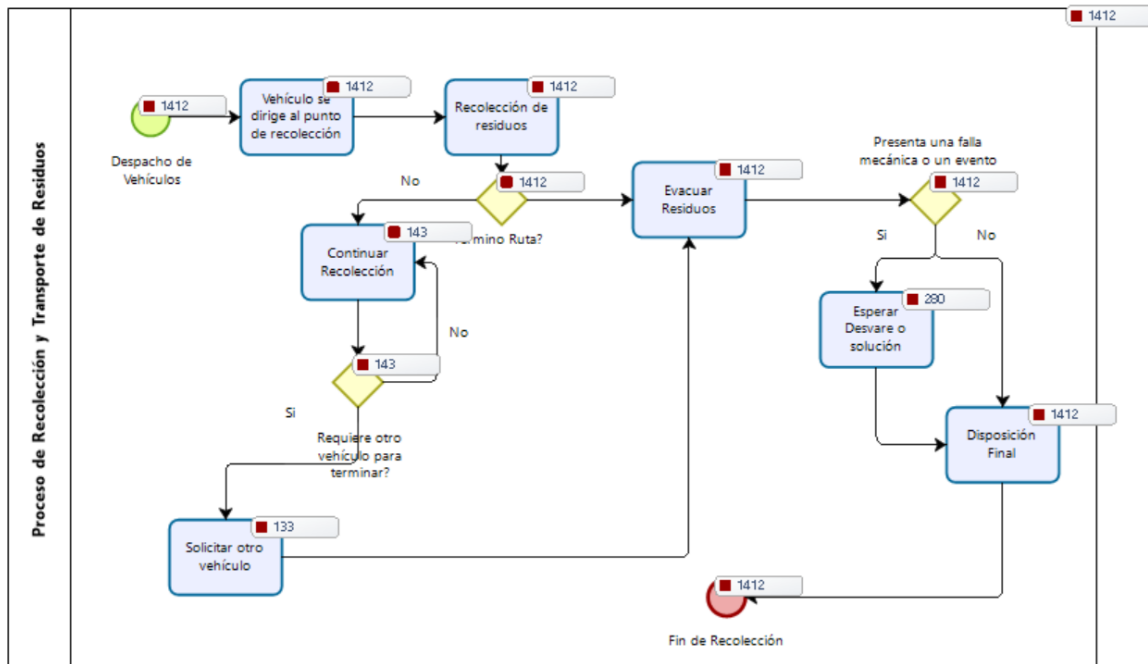
Figura 28 Validación del modelo con valores inferiores



Fuente: Elaboración propia

Para este escenario se configuró con la mitad de las rutas del modelo, el cual se puso como variable de finalización en un día, para el caso que es la figura 28 donde solo se tomó en cuenta la mitad de las rutas el modelo indica que la finalización se da en el tiempo determinado. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un escenario diferente con un extremo mayor ingresando el doble de las rutas existentes equivalente a 1412 como se evidencia en la Figura 29.

Figura 29 Validación del modelo con el doble de rutas



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 29 se evidencia un cumplimiento de 1412 rutas de recolección, donde para el cumplimiento de estas se requiere de más de dos días para completar todo el proceso, como se ha explicado anteriormente en la funcionalidad del programa.

De estos escenarios extremos se derivan varias preguntas, entre estas:

- ¿Los vehículos si recolectaron todos los residuos de las ciudades?
- ¿Si fue suficiente dicha capacidad para el Área Metropolitana?
- ¿Los prestadores del servicio si están cumpliendo con la normatividad en Calidad y continuidad del servicio?
- ¿No se está sobrecargando los vehículos?
- ¿No se está teniendo holgura en los vehículos?
- ¿No se presenta un costo excesivo con la cantidad de vehículos para cumplir la operación?

Se derivan estas preguntas dado que el modelo y el análisis de sensibilidad calculo solo el tiempo de la actividad y no tuvo en cuenta capacidad del vehículo, calidad del servicio, ni las otras variables que se mencionaron en el presente trabajo.

Lo que se infiere de esta validación es, cada uno de los prestadores, de acuerdo con el municipio en la que prestan su servicio se encuentran sobrecargados o asumiendo costos muy altos por tener mucha holgura en el proceso, dado que el día a día de la actividad no toma más tiempo de un turno laboral, de acuerdo con los datos que se evidencian en el SUI, por lo tanto, se recomienda realizar un análisis a cada prestador con el fin de responder cada uno de los cuestionamientos, explicando cual caso es para cada uno de estos.

Tomando como ejemplo la ciudad de Medellín y su situación actual, donde se evidencia mayor cantidad de toneladas recolectadas que en los otros municipios de acuerdo con la sección 3.2 en la Figura 20 del presente trabajo, donde se mostró el histórico de toneladas recolectadas por cada municipio, podemos suponer que para Medellín el proceso aplica para los valores mínimos del pronóstico realizado con el modelo Arima, es decir, falta de recursos o falta de creación e ingreso de más vehículos que puedan atender toda la ciudad.

Sección 3.4. Discusión de los resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos se logra inferir que las variables para una buena planeación de rutas y servicios depende de cada uno de los municipios, por su cantidad de habitantes en la generación de residuos.

CAPITULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sección 4.1 Conclusiones generales.

Se concluye que la mejora en la planeación del servicio es importante para el área metropolitana con el fin de generar un impacto positivo en la actividad de recolección de residuos sólidos, dado que estos residuos están en aumento constante y cada prestador del servicio debe estar preparado logísticamente para atender este crecimiento como se evidenció en el modelo, incluyendo los puntos de alerta demostrados.

Adicionalmente, en el proceso investigativo, analítico y en la recolección de datos, arrojó que el punto fundamental para una buena planeación del servicio depende de cada sector, por sus múltiples variables, como también la población y la cultura que hay en cada municipio; pues de esto depende una programación precisa para atender con continuidad y calidad como lo exige la normatividad vigente.

Desde el punto de vista analítico cada prestador del servicio tiene herramientas desde los datos generados y fuentes públicas para atender el crecimiento exponencial de los residuos, partiendo de estudios y pronósticos que permitan realizar una planeación logística de acuerdo con las comunidades a atender.

Sección 4.2 cumplimiento de los objetivos.

1. Primer Objetivo: Caracterizar los datos relacionados con la recolección y transporte de residuos sólidos y la población del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Se recolectó la información de los componentes principales para el sector a estudiar, demostrando el impacto que tiene cada uno de estos en la actividad de recolección y transporte, como cada variable es una pieza fundamental para una correcta planeación y como está fue importante para el modelo.

2. Segundo Objetivo: Modelar la actividad de recolección y transporte para mejorar la planeación de las rutas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Se realizó un modelo evidenciando los puntos de control que son importantes en la planeación y mejora de los servicios, donde cada uno de estos interfiere en la correcta continuidad generando demoras y bajando la calidad del servicio, impactando en la percepción de la calidad por parte de la ciudadanía.

3. Tercer Objetivo: Validar el modelo de la actividad de recolección y transporte que mejore la planeación de las rutas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Al tomar como escenarios dos puntos extremos en el ejercicio de las rutas, dentro del proceso se evidencia que los puntos de control considerados en el modelo continúan siendo de importancia en la prestación del servicio, respecto a cómo afectan estos extremos en el servicio tanto a la ciudadanía como para el prestador de la actividad de recolección y transporte. Sin dejar a un lado las demás variables poblacionales, cartográficas y logísticas que afectan el proceso.

Sección 4.3 Recomendaciones

En el proceso investigativo se evidencia la falta de analítica y de conocimiento en el área metropolitana para la actividad de recolección y transporte, si bien cada prestador cumple con la normatividad vigente, se observa una falta de comprensión de lo que se está prestando, ya sea por decisiones que no tienen que ver con las empresas o por ahorrar costos que impacta la prestación.

Por lo tanto, se recomienda aplicar la analítica tanto descriptiva, como predictiva para enfocar los esfuerzos y no desperdiciar recursos innecesarios, pues de una correcta planeación, el proceso puede fluir de una manera más adecuada por cada localidad a atender.

Sección 4.4 Trabajo futuro.

Como trabajo futuro del presente estudio se encuentran dos alternativas al evidenciar poca o nula información sobre la planeación logística que no incluye la norma en el servicio público de aseo como también en la generación de residuos por ciudadano.

En la planeación logística se evidenció que los prestadores del servicio público de aseo no cuentan con información clara sobre los sectores a atender, si bien realizan la actividad, el servicio es prestado de una manera artesanal o dicho coloquialmente en el camino se conocen los errores, práctica que puede castigar los costos de las empresas; por lo tanto, un análisis en detalle de la logística en las actividades del servicio puede minimizar costos, tener puntos de control identificados, estudiando los tiempos y movimientos desde el comportamiento social de las personas, hasta la realización de la actividad teniendo en cuenta todas las personas que hacen parte del proceso para ejecutarlo de manera adecuada.

En la generación de residuos por ciudadano, es uno de los temas con menos investigaciones sociales, dado que el componente social por tipo de comunidad, estrato socioeconómico, tipo de sector (domiciliario o comercial), ubicación dentro de las ciudades permitiría una adecuada predicción sobre estos, yendo más a entender la producción *per cápita* por cada ciudadano, sus intereses, sus tipos de consumo de acuerdo con los meses del año. Este tipo de estudios o análisis en la actualidad son muy escasos o inexistentes en las realidades de cada ciudad. Ampliar una investigación abarcando el tema social para determinar el impacto sobre los residuos generaría mucha información para las comunidades, como para los gobiernos en el tema ambiental de como enfocarse de acuerdo con las localidades en la educación ambiental.

REFERENCIAS

- Aburrá, Á. M. (Marzo de 2006). *Resumen PGIRS*. Obtenido de https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/PGIRS/RESUMEN%20Y%20CARTILLA_PGIRS_Regional.pdf
- Avila, S. L., Nieto, M. S., Jimenes, D. C., & Osorio, J. C. (14 al 16 de 09 de 2011). Análisis del impacto generado en sus sistema de gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumentos de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas. *La Dinamica de sistemas: Un Paradigma de Pensamiento*. Bogotá, Colombia.
- Avila, S. L., Nieto, M. S., Jimenez, D. C., & Osorio, J. C. (2011). *Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento poblacional a través de dinamica de sistemas*. Bogotá.
- Betanzo, E., Torres, M. A., Romero, J. A., & Obregón, S. A. (2015). Evaluación de Rutas de Recolección de Residuos Sólidos Urbanos con Apoyo de Dispositivos de Rastreo Satelital: Análisis e implicaciones. *Universidad Autónoma de Querétaro*.
- Córtés Montes, C. (2018). *Estudio de los residuos solidos en Colombia*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- DANE. (2019). *Estadísticas por tema*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-habitantes-de-la-calle/censo-habitantes-de-la-calle-chc-informacion-historica>
- Galán Cortina, V. (2015). *e-archivo.uc3m.es*. Obtenido de https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22198/PFC_Victor_Galan_Cortina.pdf
- Gallardo Arancibia, J. A. (2010). *Metodología para el desarrollo de proyectos en Minería de Datos Crisp-DM*.
- IBM. (s.f.). *IBM*. Obtenido de <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=dm-crisp-help-overview>
- Medellín, M. d. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Solidos*. Medellín.

- Ministerio de Vivienda, c. y. (26 de Mayo de 2015). Decreto 1077 de 2015.
- Moine, J. M., Haedo, A. S., & Gordillo, S. E. (2011). Estudio comparativo de metodologías para minería de datos. *SEDICI*, 4.
- Montañez Gomez, M. A. (2020). *Prototipo de sistema de monitoreo basado en una red inalámbrica de sensores simulada, como apoyo a la planeación de rutas de recolección de residuos solidos*. Bogotá, Colombia.
- Nacional, G. (2015). *Función Pública*. Obtenido de funcionpublica.gov.co:
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216#:~:text=Es%20el%20mecanismo%20mediante%20el,de%20las%20modalidades%20que%20se>
- Pabon Contreras, E. Y. (06 de 05 de 2019). ACTUALIZACION DE LAS MACRO Y MICRO RUTAS DE RECOLECCION Y TRANSPORTE DE RESIDUOS SOLIDOS Y BARRIDOS EN EL CASCO URBANO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER. Ocaña Norte de Santander, Colombia.
- Polanco, R. H., & Garcia, D. F. (2019). Caracterización de la gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) en la ciudad de Villavicencio (Colombia). *Revista Espacios*, 6 - 19.
- Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data Science For Bussiness*. United States of America: Craig Vaughan.
- Salcedo Parra, O. J., Galeano, R. M., & R. B. (2010). *Metodología CRISP para la implementación Data Warehouse*. Bogotá, Colombia: Tecnura.
- Sanchez Muñoz, M. d., Cruz Cerón, J. G., & Maldonado Espinel, P. C. (2019). Gestión de Residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Universidad Católica de Colombia*, 16.
- SUI, S. U. (2022). *Sistema Unico de Información SUI*. Obtenido de <https://sui.superservicios.gov.co/>
- Tierney, J. D., & Brendan, K. a. (2018). *Data Science*. Massachusetts: The MIT Press.
- Vallalta Rueda, J. F. (s.f.). <https://healthdataminer.com/>. Obtenido de <https://healthdataminer.com/data-mining/crisp-dm-una-metodologia-para-mineria-de-datos-en-salud/>

Zuñiga, J. J. (Marzo de 2020). *www.revistaingenieria.unam.mx*. Obtenido de
<https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/2020/v21n1-08.pdf>:
<https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/2020/v21n1-08.pdf>