

**ELABORACIÓN DE UN MODELO DE GRAVEDAD PARA IDENTIFICAR LOS  
PASEADORES EN DOS RUTAS ALIMENTADORAS**

**VALENTINA PARRA BINCHEZ**

**TRABAJO DIRIGIDO  
ENFASIS EN VIAS Y TRANSPORTE**

**Asesora**

**PhD. Ing. Mónica Marcela Suarez Pradilla**



**INGENIERÍA CIVIL**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO**

## **CONTENIDO:**

RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1    Justificación.....	7
1.2    Objetivos.....	10
1.2.1    General .....	10
1.2.2    Específicos .....	10
2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	11
2.1    Sistema de Transporte Público BRT.....	11
2.2    Descripción del Modelo de Gravedad.....	14
2.3    Características de las Rutas Alimentadoras.....	15
2.4    Revisión de la Literatura .....	17
3. CASO DE ESTUDIO.....	18
4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....	25
5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	27
5.1    Aplicación de la Encuesta.....	27
5.2    Análisis de los Resultados de la Encuesta .....	30
5.3    Aplicación del Modelo.....	33
5.3.1    Modelo de la ruta 16-2 Engativá Centro .....	33
5.3.2    Modelo de la ruta 16-14 Aeropuerto:.....	36
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	39
7. CONCLUSIONES.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	43

## **TABLA DE ILUSTRACIONES:**

Ilustración 1. Modos de transporte en un día hábil en Bogotá y los municipios.....	8
Ilustración 2. Hora de inicio de los viajes en un día hábil en Bogotá y los municipios.....	8
Ilustración 3. Distribución espacial de los viajes en transporte público en un periodo de máxima demanda en la mañana en Bogotá y los municipios. ....	9
Ilustración 4. Evolución del transporte en Bogotá.....	12
Ilustración 5. Descripción del modelo de gravedad .....	15
Ilustración 6. Localidad de Engativá.....	18
Ilustración 7. Mapa de calor ruta 16-2 Engativá Centro.....	19

Ilustración 8. Mapa de calor ruta 16-14 Aeropuerto.....	19
Ilustración 9. Población por UPZ Localidad de Engativá.....	20
Ilustración 10. Densidad por UPZ Localidad de Engativá.....	21
Ilustración 11. Estratificación Socioeconómica Urbana.....	22
Ilustración 12. Atracción de Viajes Totales por Localidad.....	23
Ilustración 13. Distancia promedio de caminata en cuadras para llegar al modo de transporte público por localidad.....	24
Ilustración 14. Viajes por modo.....	24
Ilustración 15. Metodología del proyecto.....	26
Ilustración 16. Resultados de sondeo por género.....	30
Ilustración 21. Gráfico de los residuales.....	39
Ilustración 22. Curva de regresión ajustada.....	39

### **TABLAS:**

Tabla 1. Formato con resultado de las encuestas en la ruta 16-2 Engativá Centro.....	28
Tabla 2. Formato con resultado de las encuestas en la ruta 16-14 Aeropuerto.....	29
Tabla 3. Salida de los resultados del modelo para la ruta 16-2 Engativá - Centro.....	33
Tabla 4. Factores de ajuste para la ruta 16-2 Engativá - Centro.....	35
Tabla 5. Matriz de extrapolación de datos encuesta origen – destino para la ruta 16-2 Engativá - Centro.....	35
Tabla 6. Matriz de tiempos de viaje para la ruta 16-2 Engativá - Centro.....	35
Tabla 7. Matriz de paseadores para la ruta 16-2 Engativá - Centro.....	36
Tabla 8. Formato con resultado de las encuestas en la ruta 16-14 Aeropuerto.....	36
Tabla 9. Factores de ajuste para la ruta 16-14 Aeropuerto.....	37
Tabla 10. Matriz de extrapolación de datos encuesta origen – destino para la ruta 16-14 Aeropuerto.....	37
Tabla 11. Matriz de tiempos de viaje para la ruta 16-14 Aeropuerto.....	38
Tabla 12. Matriz de paseadores para la ruta 16-14 Aeropuerto.....	38
Tabla 13. Tabla de los factores de ajuste de la regresión aplicada.....	39

## RESUMEN

El BRT (Bus Rapid Transit), que se traduce como "Tránsito Rápido de Autobuses" en español, es un sistema de transporte público diseñado para ofrecer un servicio rápido, eficiente y de alta capacidad utilizando autobuses. El BRT se basa en una serie de características y elementos clave que lo distinguen de los sistemas de autobuses convencionales. Algunos de los elementos característicos de BRT incluyen: Carriles exclusivos, estaciones de autobuses con nivel de plataforma, pago de tarifas antes del embarque, vehículos circulados y de alta capacidad, señalización prioritaria, programación y horarios regulares.

El sistema masivo de transporte de la ciudad de Bogotá en Colombia se conoce como TransMilenio y es un sistema BRT, es importante tener en cuenta que TransMilenio ha sido una parte clave en los esfuerzos de Bogotá para mejorar la movilidad urbana y reducir la congestión del tráfico. Sin embargo, el sistema ha enfrentado desafíos en términos de capacidad y congestión en algunas rutas durante las horas pico. Las autoridades continúan trabajando en mejoras y expansiones para abordar estos problemas y brindar un servicio de transporte público más eficiente y cómodo para los habitantes de Bogotá.

El sistema de transporte público de Bogotá está integrado por los buses urbanos (SITP) que tienen una cobertura a nivel de barrios, los buses articulados (TransMilenio) que transitan por los principales corredores de la ciudad y que tienen carriles exclusivos y por último están los alimentadores que son el principal objetivo de este trabajo. (Monge, 2011)

Las rutas alimentadoras de TransMilenio fueron creadas para conectar a los usuarios desde sus barrios hasta las estaciones y portales del sistema principal, todo bajo una tarifa integrada que se paga al llegar al Portal o estación de transferencia. Sin embargo, algunos usuarios abordan los alimentadores y se bajan en paradas intermedias antes de llegar a los portales sin pagar la tarifa completa a estos usuarios se les conoce como "paseadores". Esto ocasiona que, en gran parte del recorrido, los usuarios que sí pagan la tarifa experimenten un viaje de menor calidad debido a la sobrecarga de pasajeros y al aumento de los

tiempos de viaje causados por mayores ascensos y descensos en las diferentes paradas de la ruta.

**Palabras clave:** BRT, TransMilenio, rutas alimentadoras, paseadores.

## **ABSTRACT**

BRT (Bus Rapid Transit), which translates as "Tránsito Rápido de AutoBuses" in Spanish, is a public transportation system designed to provide fast, efficient, high-capacity service using buses. BRT is based on a number of key features and elements that distinguish it from conventional bus systems. Some of the characteristic elements of BRT include: Exclusive lanes, platform level bus stations, fare payment prior to boarding, circulated and high capacity vehicles, priority signaling, scheduling and regular timetables.

The mass transit system in Bogotá, Colombia, is known as TransMilenio and is a BRT system, it is important to note that TransMilenio has been a key part of Bogotá's efforts to improve urban mobility and reduce traffic congestion. However, the system has faced challenges in terms of capacity and congestion on some routes during peak hours. Authorities continue to work on improvements and expansions to address these problems and provide a more efficient and comfortable public transport service for Bogotá's habitants.

TransMilenio has several systems that run throughout the Capital City, there are the urban buses (SITP) that cover most of the streets of Bogota, articulated buses (TransMilenio) that have exclusive lanes and are located on the main avenues and finally there are the feeder buses (Alimentadores) that are the focus of this work. (Monge, 2011)

TransMilenio's feeder (Alimentadores) routes were created to connect users from their neighborhoods to the stations and portals of the main system, all under an integrated fare that is paid upon arrival at the Portal or transfer station. However, some users board the feeders (Alimentadores) and get off at intermediate stops before arriving at the portals without paying the fare; these

users are known as "paseadores". This means that, for most of the route, users who do pay the full fare experience a lower quality trip due to passengers overloading and increasing travel times caused by constant stops.

**Key words:** BRT, TransMilenio, feeder routes, walkers.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las rutas alimentadoras fueron creadas para dar conexión a los usuarios desde los barrios hasta las estaciones y portales del componente troncal a través de una tarifa integrada, es decir, que el uso de los alimentadores ha estado siempre considerado en el costo del pasaje, que se paga al llegar al Portal o estación de transferencia (TransMilenio, 2020). Sin embargo, existen muchos usuarios que abordan las rutas alimentadoras y descienden en las paradas intermedias antes de llegar a los portales. Estos usuarios no pagan la tarifa, pero usan el sistema y causan que durante la mayor parte del trayecto los usuarios que si pagan la tarifa integral tengan menor calidad en el viaje debido a que los buses van llenos y el ascenso y descenso de los pasajeros incrementa los tiempos de viaje.

En este trabajo se verán reflejados datos de investigación y análisis de esta problemática en dos rutas alimentadoras de la localidad de Engativá, para entender las dinámicas se harán unos estudios previos de la ciudad de Bogotá, apoyándose en diagnósticos socioeconómicos y demográficos, de las localidades y unidades de planeamiento zonal, se harán la recolección de datos de las rutas alimentadoras seleccionadas para finalmente poder crear un modelo de gravedad que nos dé una información más detallada sobre el comportamiento de los paseadores.

Para la selección de las rutas se analizaron las zonas en las cuales el sistema de alimentación de TransMilenio en Bogotá circula con buses que no cuentan con un torniquete al ingreso del vehículo. Para esto, se eligió el portal El Dorado que

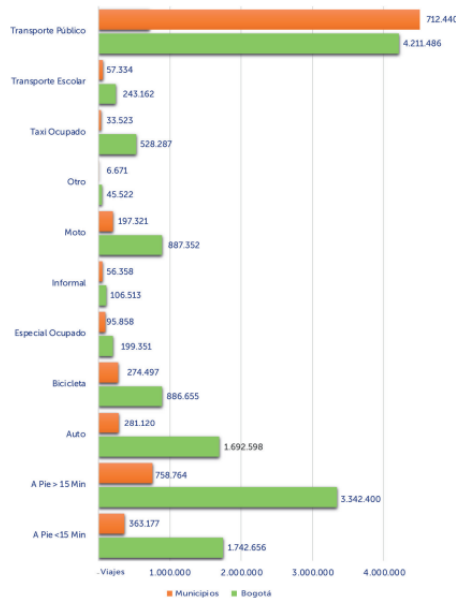
es alimentado por dos diferentes sistemas de alimentación, el de Fontibón y el de Engativá, con la diferencia de que la flota que circula por Fontibón cuenta con torniquetes y los usuarios que hacen uso de este pagan la tarifa al ingreso de este, mientras que el sistema de Engativá no funciona de esta manera y los usuarios validan su pasaje en el portal, lo que puede llevar a tener un número grande de pasajeros “paseadores”. Se escogen las rutas 16-2 Engativá Centro y 16-14 Aeropuerto para llevar a cabo el análisis de evasores del pasaje e identificar los sectores donde se presenta el mayor ascenso y descenso de estos.

Para esto se realizó un modelo gravitacional ya que este método se basa en la atracción gravitacional entre dos objetos, que disminuye a medida que aumenta la distancia entre ellos. En el contexto de estos modelos de distribución, se utiliza la analogía de Newton, pero reemplazando esta con la hipótesis de que los viajes entre dos zonas están determinados por los viajes originados en esas zonas y el nivel de atracción basado en la accesibilidad de una zona con respecto a otra (Perea, 2008).

## **1.1 Justificación**

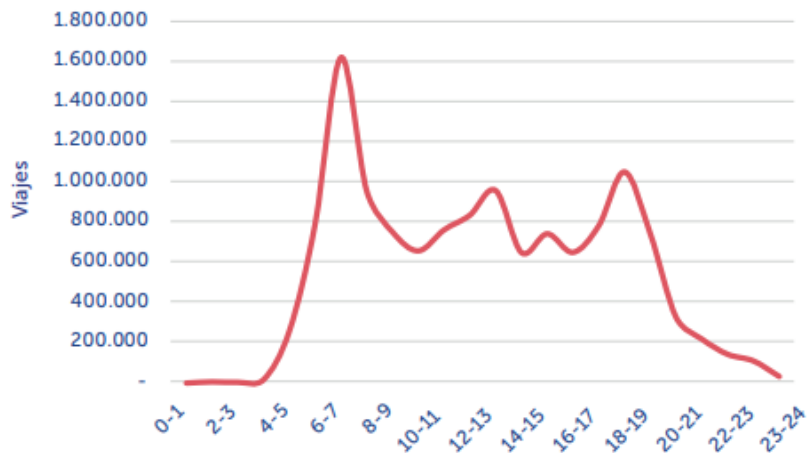
En la ciudad de Bogotá actualmente se realizan aproximadamente 16.723.044 millones de viajes diarios incluidos los municipios que configuran la región metropolitana, incluyendo los trayectos de menos de 15 minutos, de los cuales el 71,52% se realizan en modos sostenibles (transporte público, bicicleta y modos peatonales) de acuerdo con la Encuesta de Movilidad del 2023 de la Secretaría Distrital de Movilidad. Además, en Bogotá el 61.22% de la población no tiene ningún tipo de licencia de conducción vigente. En Bogotá el 50,27% de los hogares residen en viviendas de estrato socioeconómico 1 y 2. Particularmente, para Bogotá 8,68 millones de viajes diarios en modos sostenibles (71,52%), en dos períodos de máxima concentración de demanda: 6:15 a.m. y 7:15 a.m. (1,6 millones de viajes) y de 5:00 p.m. a 6 p.m. (1,1 millones de viajes). (Secretaría Distrital de Movilidad, 2023)

Ilustración 1. Modos de transporte en un día hábil en Bogotá y los municipios.



Fuente: Encuesta de movilidad Bogotá – Región 2023. Secretaria de Movilidad Distrital.

Ilustración 2. Hora de inicio de los viajes en un día hábil en Bogotá y los municipios.

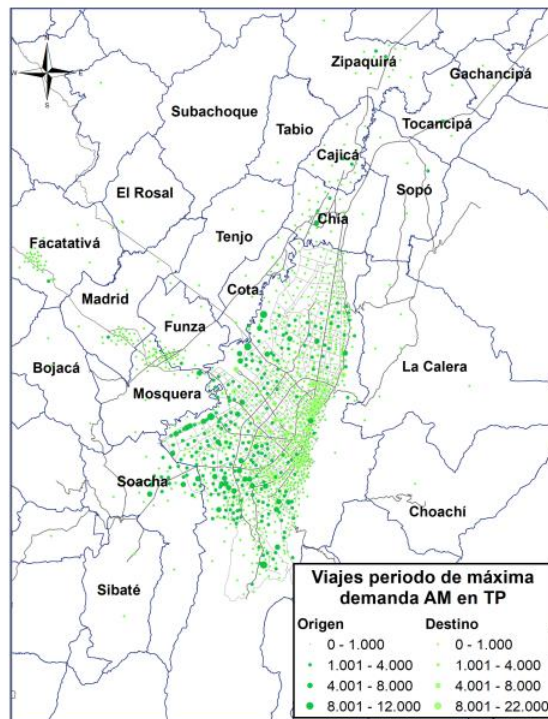


Fuente: Encuesta de Movilidad Bogotá -Región 2023. Secretaria de Movilidad Distrital.



En Bogotá el promedio de viajes por hogar es de 2,36, en la mañana en la hora pico, las ZATs (zonas de transporte) que más producen viajes se encuentran al sur de la ciudad y su destino es el centro ampliado (centro tradicional hasta la calle 100 incluyendo la zona franca de Fontibón), de acuerdo con la encuesta se producen hasta 22.000 viajes por ZAT.

Ilustración 3. Distribución espacial de los viajes en transporte público en un periodo de máxima demanda en la mañana en Bogotá y los municipios.



Fuente: Encuesta de Movilidad Bogotá -Región 2023. Secretaria de Movilidad Distrital.

De acuerdo con lo anterior la operación del transporte público es esencial para el funcionamiento de la ciudad dado el alto porcentaje de viajes que se producen en el sistema.

El sistema integrado de transporte público de Bogotá se compone de buses zonales (SITP), buses articulados y biarticulados (TransMilenio), así como buses Alimentadores. Su objetivo principal es mejorar la movilidad, priorizando la calidad y comodidad a través de enfoques intermodales. Esto implica que los usuarios

pueden acceder al servicio mediante diversas modalidades conectadas entre sí, buscando eficiencia al cubrir distancias sin costos adicionales, como el trasbordo.

El trasbordo consiste en evitar el pago de una tarifa doble al momento de usar varios vehículos del sistema en un tiempo rango de máximo 90 min, aunque se ha buscado la facilidad de ofrecer el mayor número de paradas (puntos de detención de los buses) para facilitar a los usuarios el viaje y así mismo conocer el volumen de estos. La observación permitió identificar determinados trayectos de diferentes rutas en las cuales entre distancias cortas las personas dejan de pagar la tarifa porque son paradas que no están diseñadas para ingresar y salir inmediatamente, es decir, el ideal es tomar el servicio en esos puntos y continuarlo hasta el siguiente punto de pago.

Por esta razón, se decide realizar un modelo de gravedad que nos proporcione una estructura matemática que explique las relaciones entre las variables que causan la evasión del pasaje en las rutas alimentadoras de TransMilenio, así mismo este modelo es útil para comprender y prever los patrones que se presentan y se puedan presentar en un futuro. Para elaborar el modelo de gravedad, se aplicó un sondeo en las rutas de estudio y se buscó información de estas en TransMilenio.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

- Elaboración de un modelo de gravedad para identificar los paseadores en dos rutas alimentadoras en la ciudad de Bogotá.

### **1.2.2 Específicos**

- Caracterizar la red de rutas alimentadoras de TransMilenio y elegir dos rutas cuya cuenca de servicio esté relacionada.
- Elaborar una encuesta para identificar el perfil de los paseadores, el motivo por el que usan más comúnmente la ruta y el horario.

- Realizar un análisis estadístico a los datos de subida y bajada que toma Transmilenio una vez al año y contrastarlos con la proyección de la encuesta.
- Elaborar un modelo gravitacional para evaluar el patrón de movilidad de los paseadores.

## **2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA**

### **2.1 Sistema de Transporte Público BRT**

Bogotá cuenta con una amplia red de carreteras y autopistas, así como una red de transporte público que incluye autobuses, taxis, sistemas de transporte masivo como TransMilenio y el sistema de trenes urbanos. Sin embargo, existen desafíos respecto a la congestión del tráfico, la falta de mantenimiento, modernización y la falta de integración entre los diferentes sistemas de transporte. TransMilenio es uno de los sistemas de transporte público más grandes y eficientes de América Latina, pero enfrenta desafíos en temas como congestión, falta de mantenimiento, modernización y falta de integración. Se han tomado medidas para mejorar la calidad del transporte público, incluyendo la renovación de las flotas de autobuses y la implementación de sistemas de control de velocidad y monitoreo de rutas (Kimmelman, 2023).

#### Ilustración 4. Evolución del transporte en Bogotá.



Fuente: Elaboración propia.

En el siglo XIX, la expansión acelerada de Bogotá llevó al desarrollo del transporte público, comenzando con el tranvía en 1884. La ciudad pasó de carruajes de tracción animal a tranvías de mulas y luego a tranvías eléctricos, taxis, buses, trole buses, colectivos, busetas, Transmilenio y, finalmente, al Metro programado para 2023. Aunque la ciudad experimentó dificultades de comunicación debido a la falta de vías, la aviación eventualmente superó este desafío. En el año 2000, durante la primera alcaldía de Enrique Peñalosa, se estableció TransMilenio como un sistema de transporte masivo para mejorar la movilidad en Bogotá. Este sistema, diseñado para proporcionar un servicio cómodo, seguro y moderno, comenzó a operar el 18 de diciembre de 2000 con la inauguración de la primera ruta entre las calles ochenta y sexta por la troncal de la Caracas. Durante este periodo inicial, se implementaron las troncales Auto norte, Calle 80 y Caracas. En la actualidad, TransMilenio abarca 115.1 kilómetros de vías en troncal en operación, con 12 troncales, 138 estaciones, 9 portales y 10 patios garajes, consolidándose como un componente fundamental del sistema de transporte público en Bogotá (Jstorres, 2020).

El sistema integrado de transporte publico de Bogotá, está conformado por buses zonales (SITP), buses articulados, biarticulados (TransMilenio) y buses Alimentadores, este sistema tiene como finalidad contribuir y facilitar la movilidad

de las personas enfatizando en la calidad y comodidad a través de metodologías intermodales. Esto permite que los usuarios accedan al servicio a través de diferentes modalidades conectadas entre sí, es decir, el sistema busca ofrecer la eficiencia para cubrir la mayor distancia sin incurrir en gastos adicionales mediante opciones tales como el trasbordo.

A principios del 2020 TransMilenio empezó a implementar unos cambios en el sistema para evitar la frecuencia de estos paseadores en los buses, según un artículo del canal capital, as modificaciones que se avecinan para los buses consisten en la implementación gradual de un nuevo procedimiento. A partir de septiembre de 2020, los usuarios deberán validar el pago al abordar los buses alimentadores. Dado que el sistema es inteligente, el pago restante se realizará automáticamente al llegar al portal. En términos prácticos, esto implica que el usuario "actualmente paga 2.950 al hacer la transferencia al troncal, pero ahora pagará 2.750 al subir al bus y, al hacer la transferencia al autobús rojo, se le cobrarán los 200 pesos restantes", como se explicó desde TransMilenio. El cambio incluyó la implementación de equipos de validación en el interior de los autobuses y un cambio en el color de estos. (Noticias , 2020). Esta modificación tiene como objetivo principal identificar a los llamados "paseadores", aquellas personas que hacen uso indebido del transporte público evadiendo el pago. El sistema busca garantizar que cada persona que utilice el transporte público contribuya económicamente, ya que el servicio de alimentación no se presta de manera gratuita.

El sistema de transporte masivo de Bogotá, Colombia conocido como TransMilenio, opera como un sistema de transporte rápido por bus (BRT). Es fundamental considerar que TransMilenio ha desempeñado un papel clave en los esfuerzos de la ciudad para mejorar la movilidad urbana y mitigar la congestión del tráfico. A pesar de sus contribuciones, el sistema ha enfrentado desafíos relacionados con la capacidad y la congestión en ciertas rutas durante las horas pico.

## 2.2 Descripción del Modelo de Gravedad

El modelo gravitacional es una herramienta utilizada en la planificación del transporte y la geografía para predecir la interacción entre dos ubicaciones, como la cantidad de viajes entre dos ciudades o áreas geográficas. Este modelo se basa en la analogía con la ley de la gravedad, donde la atracción entre dos masas es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

En el contexto de la distribución de viajes, el modelo gravitacional asume que la cantidad de viajes entre dos ubicaciones está relacionada con la población o actividad económica de las ubicaciones y las distancia entre ellas. La forma general del modelo gravitacional para la distribución de viajes entre dos zonas  $i$  y  $j$  es:

$$V_{ij} = kP_iA_jf(c_{ij}) = \frac{P_iA_jf(c_{ij})}{\sum A_jf(c_{ij})}$$

Donde:

$V_{ij}$  es el numero de viajes entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$P_i$  es la medida de generación de viajes en la zona  $i$ .

$A_j$  es la medida de atracción de viajes en la zona  $j$ .

$f(c_{ij})$  es la medida de costo o impedancia de viajar entre las zonas  $i$  y  $j$ .

$k$  es una constante de proporcionalidad.

La fórmula muestra la cantidad de viajes entre dos zonas está influenciada por la generación de viajes en la zona de destino y la resistencia o la impedancia para viajar entre las zonas.

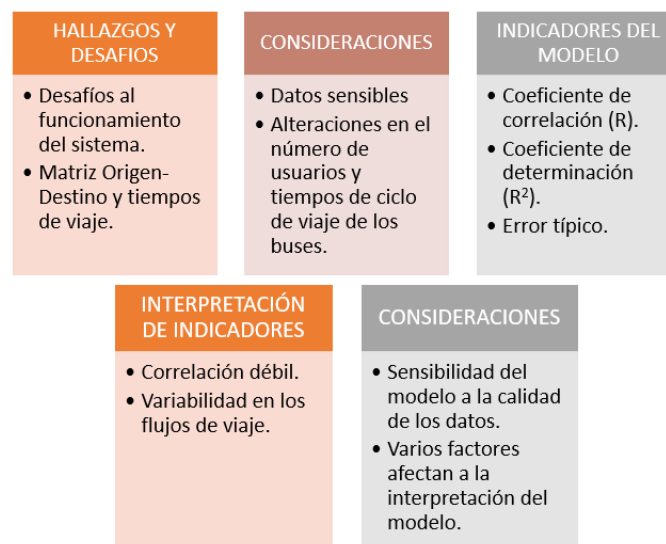
En la aplicación práctica, el modelo gravitacional se utiliza para estimar la distribución de viajes entres diferentes zonas geográficas, lo que puede ser útil en

la planificación del transporte, la ubicación de infraestructuras y la toma de decisiones relacionadas con el desarrollo urbano.

En el estudio se aplicó el modelo de gravedad utilizando datos de origen/destino provenientes de una encuesta y de datos de TransMilenio para comprender la distribución de viajes de la zona. Se calibraron las constantes del modelo y se evaluaron diferentes funciones de resistencia, como la exponencial negativa, para determinar la que mejor se ajusta al modelo.

En conclusión, el modelo gravitacional es una herramienta matemática que permite comprender y predecir la distribución de viajes entre diferentes ubicaciones, lo que puede ser fundamental para la planificación del transporte y el desarrollo urbano. (Gonzales & Sarmiento , 2009)

Ilustración 5. Descripción del modelo de gravedad



Fuente: Elaboración Propia

### 2.3 Características de las Rutas Alimentadoras

Las rutas alimentadoras en TransMilenio en Bogotá desempeñan un papel crucial al conectar áreas residenciales y comerciales con las troncales principales, asegurando una red de cobertura extensa y así mejorando la accesibilidad a lo largo de toda la ciudad.

Están diseñadas para “alimentar” el sistema troncal, estas rutas ofrecen frecuencias regulares, horarios preestablecidos y flexibilidad en sus trayectorias para poder adaptarse a las necesidades de movilidad en las comunidades. Además, se integran con otros modos de transporte y se enfocan en la accesibilidad universal, proporcionando información detallada a los usuarios a través de paneles en paradas, vehículos y aplicaciones móviles. La integración tarifaria facilita la transición entre rutas alimentadoras y troncales sin ningún costo adicional, consolidando así su importancia para la movilidad eficiente y accesible en Bogotá.

La ruta alimentadora 16-2, está diseñada para conectar áreas periféricas y barrios residenciales con la estación troncal de TransMilenio más cercana (Portal El Dorado), esta ruta cubre zonas específicas de Engativá Centro como; Marandu, Villa Gladys, San Antonio Urbano y Engativá Centro, sirviendo como enlace importante para los residentes de estas áreas hacia la estación troncal correspondiente. Esta ruta tiene paradas estratégicas en lugares clave dentro de la comunidad, como centros comerciales, áreas residenciales densas o puntos de interés, facilitando así el acceso de los usuarios al sistema de transporte público. (Moovit, 2023)

La ruta 16-14 está diseñada para conectar áreas específicas con el Aeropuerto El Dorado y con la estación troncal más cercana de TransMilenio, al igual que la ruta de Engativá centro, está también cuenta con paradas estratégicamente ubicadas para facilitar la conexión de los usuarios desde diversos puntos hacia y desde el principal Aeropuerto de Bogotá, las paradas cubren específicamente las zonas comerciales y empresariales cercanas al Aeropuerto.

Ambas rutas cuentan con horarios preestablecidos y una frecuencia regular para garantizar la conveniencia y previsibilidad para los pasajeros.



## 2.4 Revisión de la Literatura

Muy pocas investigaciones previas se han realizado con respecto a los usuarios paseadores que se encuentran en las rutas alimentadoras, sin embargo, si se encuentra información que describe la situación con esos usuarios y alternativas que han ayudado a disminuir el uso de estos en los servicios de alimentación de TransMilenio en Bogotá.

El sitio web informativo Portafolio, en el año 2020 sacó un comunicado donde informa que, a partir de junio de ese año, la Alcaldía de Bogotá y TransMilenio anuncian cambios en el servicio de buses alimentadores con el fin de prevenir “paseadores”. Donde, se integrará el pago en el servicio, cobrando el pasaje de TransMilenio al ingresar al alimentador para reducir el uso de estos buses para trayectos cortos que no abordan estaciones. Se implementarán registradoras en los alimentadores, similar al sistema de buses del SITP, y los usuarios validarán el pasaje con la tarjeta Tu Llave, manteniendo el costo del pasaje en \$2.400 (precio del servicio de transporte público de Bogotá para la fecha de publicación). Los alimentadores serán llamados “rutas urbanas” y serán de color azul. Esta medida busca abordar puntos críticos con una evasión de hasta el 90% en el uso indebido de buses verdes para desplazamientos entre barrios. (Portafolio, 2020)

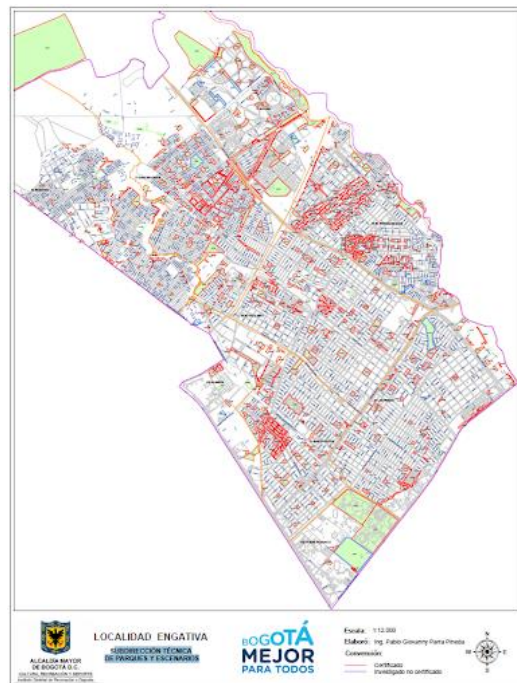
En Fontibón también se vio reflejada esta medida, según Nuevo Fontibón un sitio web que informa sobre noticias de la localidad, en el año 2020 a partir del 26 de diciembre, aquellos que solían tomar los buses alimentadores de TransMilenio sin pagar para evitar caminar o ahorrar pasajes ahora deberán abandonar. La medida busca evitar la presencia de “paseadores” que ocupan los buses sin pagar, afectando el acceso al Portal del Dorado. Se identificó que un 37% de las rutas alimentadoras de Fontibón, las personas se subían en puntos específicos para dirigirse al centro de la localidad sin pagar pasaje, afectando a quienes se dirigían al Portal Eldorado. Con la nueva normativa, los usuarios deberán su tarjeta al subir, con un descuento de \$2.300 (valor del pasaje en rutas zonales a la fecha de publicación), y al llegar al portal, se les cobrarán \$200 adicionales, totalizando los \$2.500 (valor del pasaje en rutas troncales a la fecha de publicación) del costo del

transporte en TransMilenio. (Nuevo Fontibón , 2020 ). Cabe resaltar que esta medida se aplicó solo en algunas zonas de Bogotá, en donde el porcentaje que usuarios evasores era considerablemente alto, sin embargo, en la actualidad se sigue lidiando con usuarios paseadores en rutas alimentadoras que no cuentan con un registro de pago al momento de ingresar al bus.

### 3. CASO DE ESTUDIO

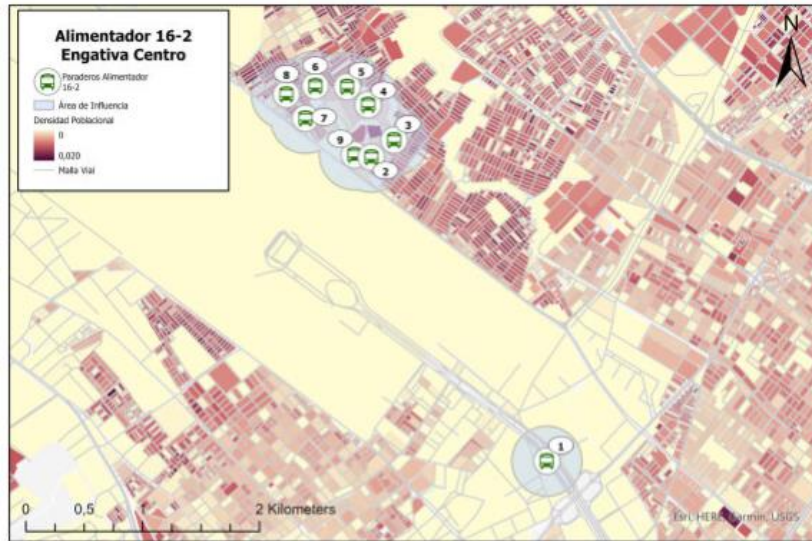
En el marco de la investigación, se selecciona el sector de Engativá en Bogotá como área de estudio primordial. La elección de este sector se fundamenta en la necesidad de realizar un exhaustivo diagnóstico socioeconómico y demográfico que permita comprender las dinámicas de la población local y sus interacciones con el sistema de transporte público.

Ilustración 6. Localidad de Engativá.



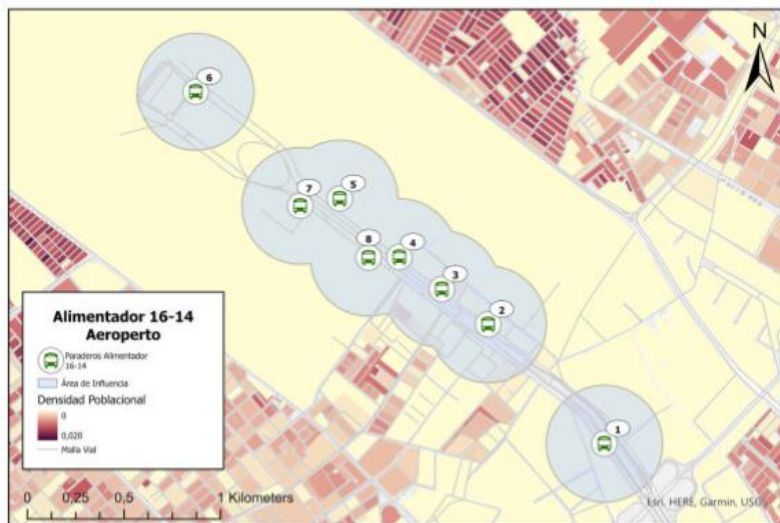
Fuente: Alcaldía Mayor de Bogotá.

Ilustración 7. Mapa de calor ruta 16-2 Engativá Centro.



Fuente: Elaboración propia en ArcGIS.

Ilustración 8. Mapa de calor ruta 16-14 Aeropuerto.



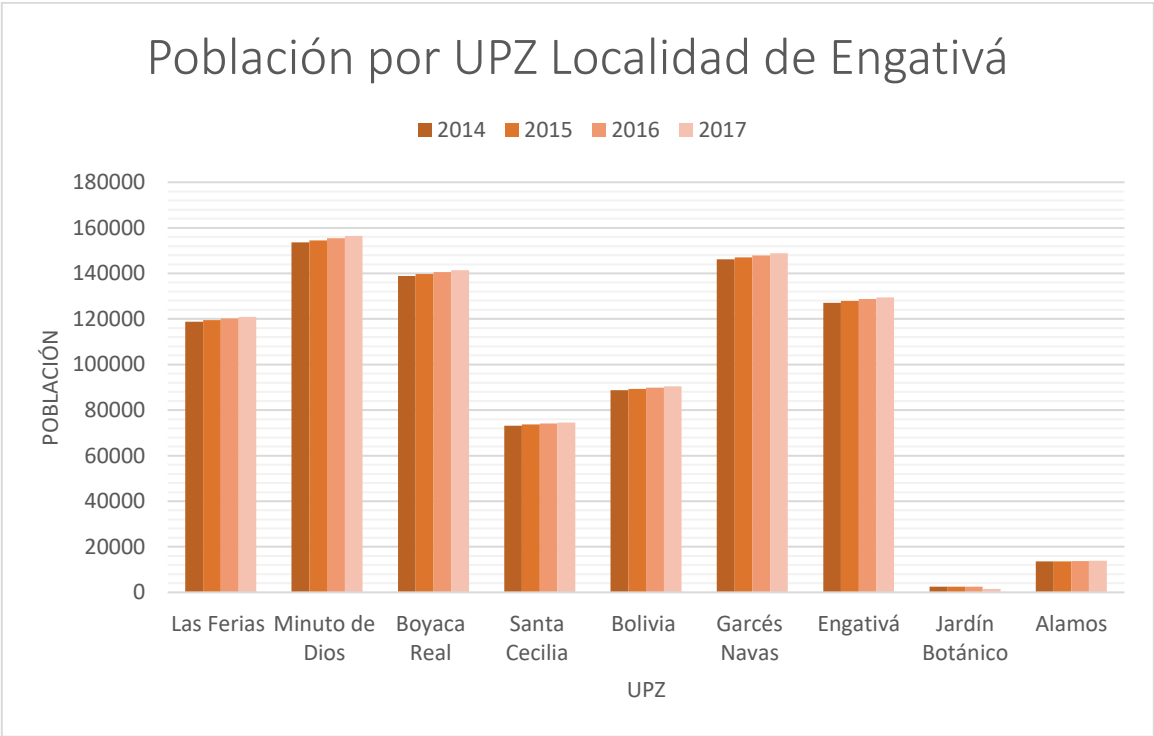
Fuente: Fuente: Elaboración propia en ArcGIS.

Engativá, es la décima localidad de Bogotá, se encuentra al noroccidente de la capital. Limita al norte con el río Juan Amarillo, que la separa de Suba, al oriente de la Avenida 68 que la conecta con Barrios Unidos, al sur con la Avenida Jorge Eliecer Gaitán (Autopista El Dorado) y el antiguo camino a Engativá, que la separa

de Fontibón, y al occidente con el Río Bogotá. Con una extensión de 3.612 hectáreas, que representa el 4,18% del área del Distrito Capital, Engativá cuenta con tres humedales: La Florida, Jaboque y Santa María del Lago. (Moreno Torres, s.f.). La localidad cuenta está constituida por 9 Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) de las cuales una es de tipo con centralizada urbana, cinco de tipo residencial consolidado, una de tipo residencial incompleta, una de tipo predominantemente dotacional y una predominantemente industrial. (Secretaría Distrital de Planeación, 2017)

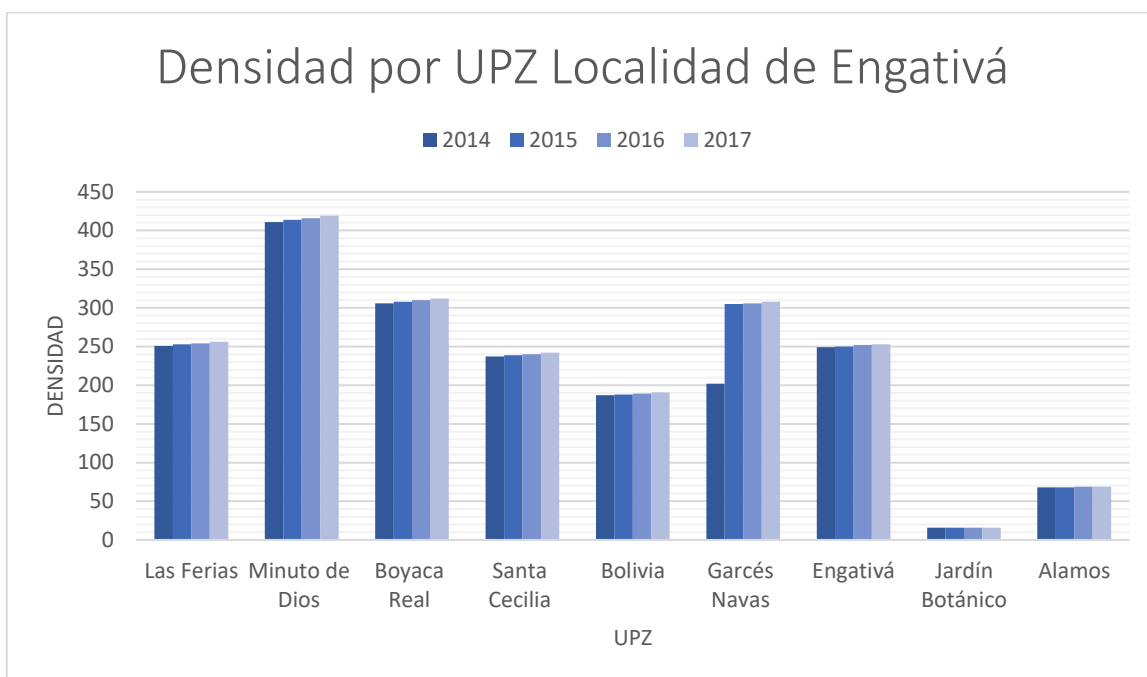
- Dinámicas Poblaciones

Ilustración 9. Población por UPZ Localidad de Engativá.



Fuente: Secretaría Distrital de Planeación 2017.

Ilustración 10. Densidad por UPZ Localidad de Engativá.



Fuente: Secretaría Distrital de Planeación 2017.

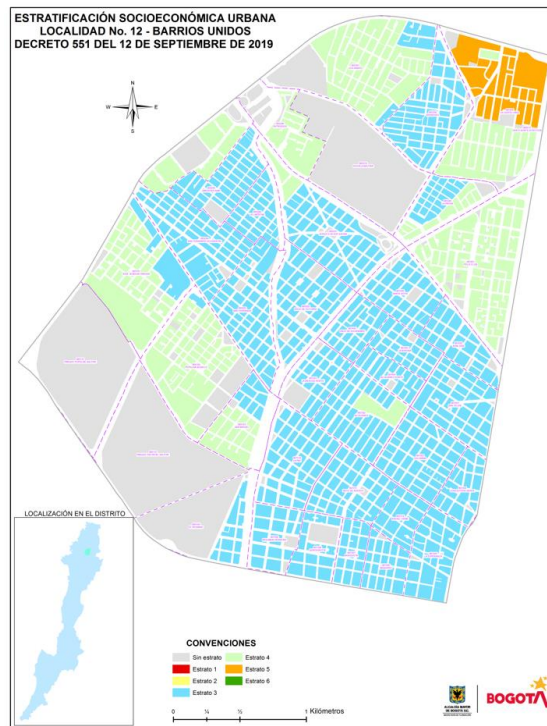
En el año 2017, Engativá, ubicada en Bogotá, registró una densidad urbana de 255 personas por hectárea, superando la densidad promedio de la ciudad, que era de 212 personas por hectárea. Durante la evaluación de las Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ) de Engativá, Minuto de Dios se destacó por tener la densidad de población más alta de 419 personas por hectárea, mientras que Boyacá Real se encuentra en segundo lugar con 312 personas por hectárea. Por otro lado, las UPZ Jardín Botánico y Álamos tuvieron las densidades más bajas con 16 personas por hectárea y 69 personas por hectárea, respectivamente.

Se observó una disminución en la población de Engativá en las proyecciones de población, aunque aún era mayor que la disminución general en Bogotá. En el mismo período, la tasa de crecimiento de la población total de Bogotá disminuyó de 1.33% en 2014 a 1.25% en 2017, mientras que Engativá experimentó una disminución de 0.90% a 0.59%. Entre 2014 y 2017, Bogotá experimentó una disminución de 0,08 puntos porcentuales, mientras que Engativá experimentó una disminución más marcada de 0,31 puntos porcentuales.

- Dinámicas económicas

En cuanto a las dinámicas económicas los principales puntos a considerar en la localidad de Engativá son los estratos, predomina el estrato 3, seguido del estrato 4 y 5.

Ilustración 11. Estratificación Socioeconómica Urbana.



Fuente: Secretaría de Planeación. <https://www.sdp.gov.co/gestion-estudios-estrategicos/estratificacion/estratificacion-por-localidad>

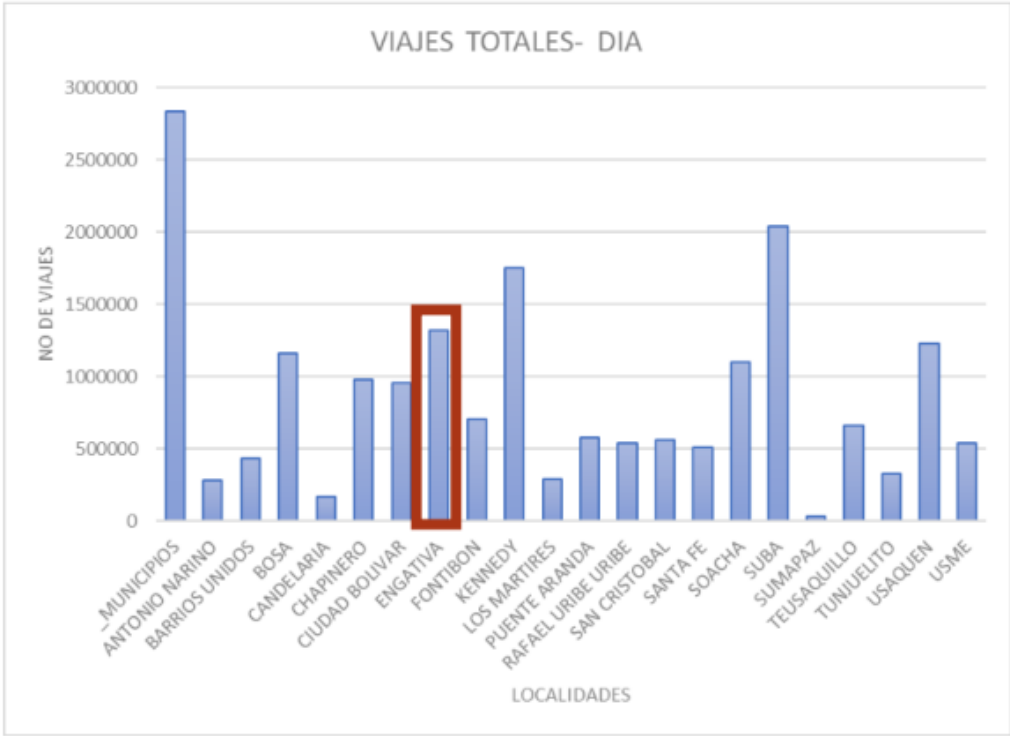
- Dinámicas de movilidad

En Bogotá, se realizan alrededor de 13,359,727 viajes en un día normal, incluyendo viajes por peatones de 15 minutos o más y viajes en otros medios de transporte de 3 minutos o más. El modo peatonal es el medio de transporte más utilizado en el área de estudio, representando el 23,9 % de los viajes totales, seguido por Transmilenio con el 16,4 % y el automóvil con el 14,9 %.

Engativá se destaca como una de las ciudades con mayor número de viajes, junto con Suba, Kennedy, Bosa y Usaquén. Engativá es otra de las zonas que

atrae más visitantes, comparable a Suba, Kennedy, Bosa y Usaquén en este sentido.

Ilustración 12. Atracción de Viajes Totales por Localidad.

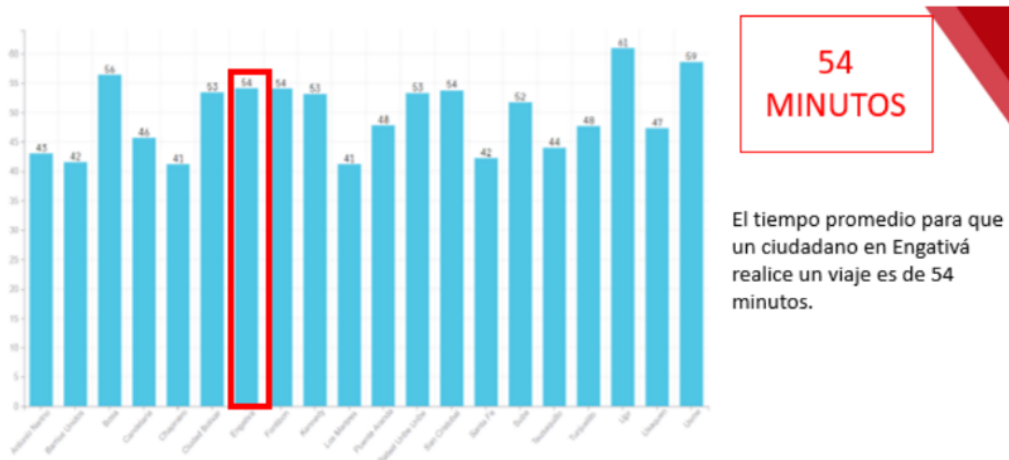


Fuente: Secretaría de Planeación.

Los habitantes de Chapinero y Los Mártires en Bogotá han informado que tienen los tiempos de viaje más cortos, con una duración promedio de 41 minutos. Su ubicación en el centro expandido de la ciudad, cerca de los principales lugares de trabajo y estudio, es la principal causa de este fenómeno. Por otro lado, debido a que se encuentran en la periferia de la ciudad, las Unidades de Planeamiento Rural (UPR) de Usme y Bosa registran los tiempos de viaje más altos.



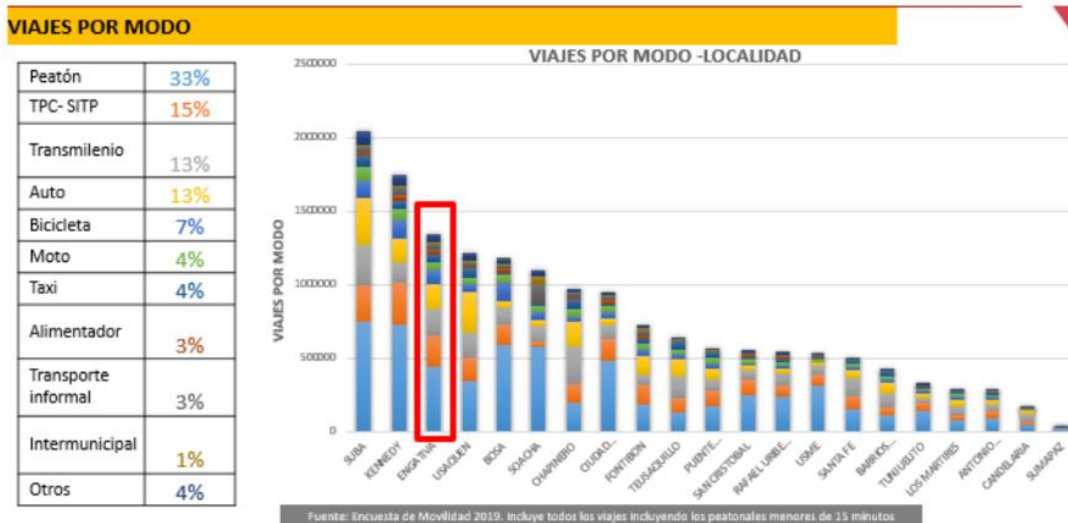
Ilustración 13. Distancia promedio de caminata en cuadras para llegar al modo de transporte público por localidad.



Fuente: Secretaría de Planeación.

La dificultad que tiene la población para acceder al transporte público es otro aspecto importante que se puede observar por localidad.

Ilustración 14. Viajes por modo.



Fuente: Encuesta de Movilidad 2019.

Engativá ocupa el tercer lugar en términos de número de viajes, después de Suba y Kennedy. El medio de transporte más común en esta zona es caminar, representando el 33% de los viajes. El SITP (Sistema Integrado de Transporte Público) y Transmilenio están en segundo lugar con un 15% y un 13%,



respectivamente. La bicicleta también es muy común en la región, representando el 7% de los medios de transporte utilizados. (Secretaría Distrital de Planeación, 2020)

#### **4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

Con el objetivo de abordar de manera integral la evaluación, se toma la decisión estratégica de centrar la atención en dos rutas específicas: la ruta 16-2 “Engativá Centro” y la ruta 16-14 “Aeropuerto”. Esta elección se fundamenta en la consideración detallada de sus recorridos y paradas cercanas, lo que proporciona un enfoque preciso para el estudio de los patrones de movilidad de los usuarios en dichas rutas.

Para obtener una evaluación más cercana y precisa del movimiento de los usuarios en las mencionadas rutas, se llevó a cabo un sondeo exhaustivo en cada una de ellas. Este sondeo, además de brindar datos concretos, permite captar las percepciones y necesidades de los usuarios, enriqueciendo así la comprensión del contexto.

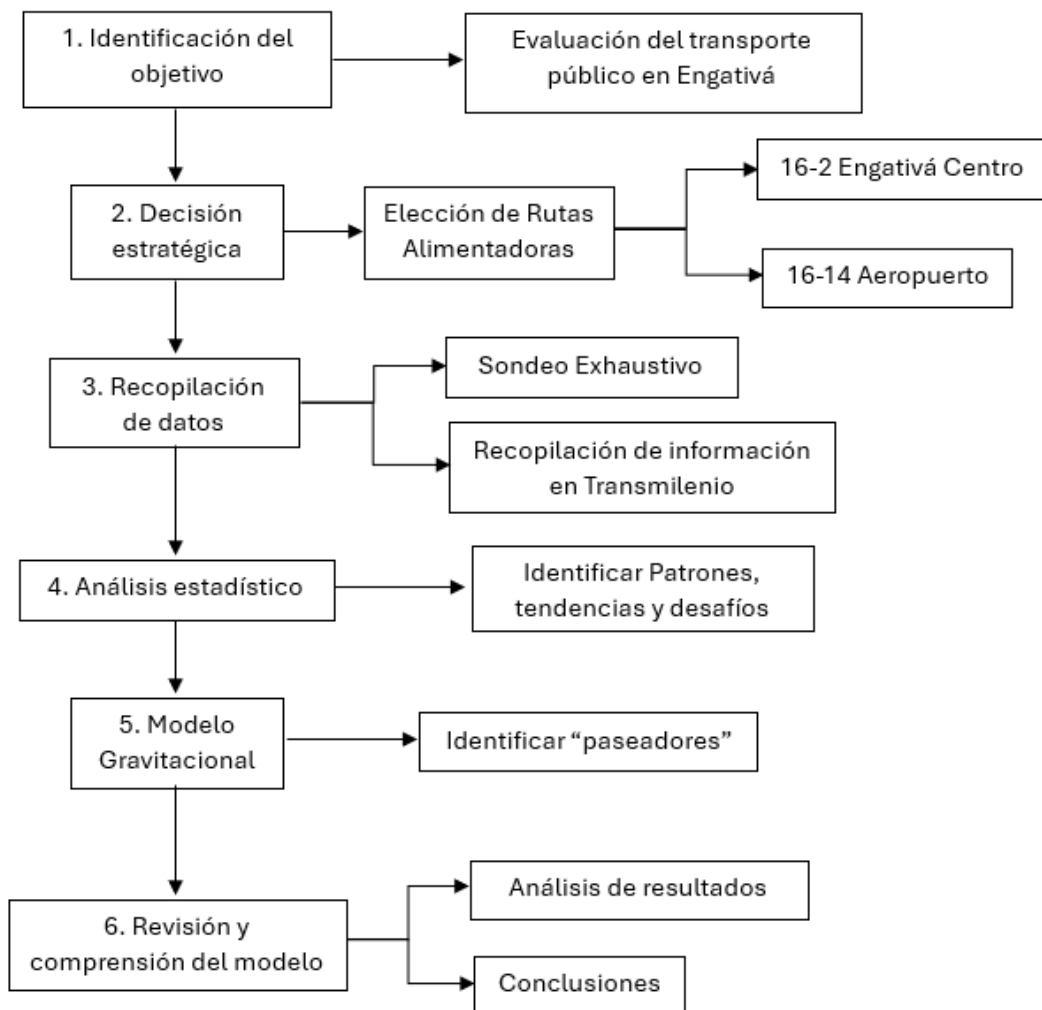
En paralelo, se realiza una búsqueda de datos en TransMilenio en ambas rutas, recopilando información relevante como el ascenso y descenso de pasajeros, los tiempos de ciclo y la demanda de pasajeros. Estos datos proporcionaron una visión cuantitativa que complementara la información obtenida a través del sondeo. Luego, se realiza un análisis estadístico profundo y una comprensión detallada de los datos recopilados tanto en los sondeos como en el registro de TransMilenio. Este análisis permite identificar patrones, tendencias y posibles desafíos en el sistema de transporte público en las rutas seleccionadas.

Con el propósito de modelar de manera efectiva las interacciones entre la población y las rutas de transporte, se procederá a la elaboración de un modelo gravitacional. Este modelo proporciona una herramienta analítica para evaluar

patrones de movilidad y determinar la atracción relativa de cada ruta para los usuarios.

Finalmente, se lleva a cabo una revisión y comprensión del modelo de gravedad obtenido, lo que permitirá formular conclusiones acertadas sobre el estudio de los paseadores en ambas rutas alimentadoras. Este enfoque integral garantiza la generación de perspectivas significativas y la formulación de recomendaciones pertinentes para mejorar la eficiencia y la calidad del servicio de transporte público en el sector de Engativá en Bogotá.

Ilustración 15. Metodología del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

## 5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

### 5.1 Aplicación de la Encuesta

Se hace la recopilación de dos fuentes de datos, en la primera se realiza unas encuestas en las rutas alimentadoras escogidas para la realización del trabajo, donde se hacen una serie de preguntas que no solo ayudan a identificar el uso que les dan las personas a los alimentadores sino nos ayudan a identificar las paradas en donde se suben y se bajan cada uno de los usuarios.

Para realizar las encuestas se hicieron las siguientes 6 preguntas:

1. Genero
2. ¿En qué parada tomo el servicio?
3. ¿En qué parada se baja del servicio?
4. ¿Con que fin usa el transporte público?
5. Si se implementa el uso del torniquete en el alimentador ¿Seguiría haciendo uso de este?
6. ¿Siente que cerca de su lugar de vivienda hay varias opciones de transporté?

Se realizó el siguiente formato para facilitar la recopilación de los datos y los resultados fueron los siguientes para cada una de las rutas:

Tabla 1. Formato con resultado de las encuestas en la ruta 16-2 Engativá Centro.

RUTA 16-2 ENGATIVA CENTRO												
	1.			2.	3.	4.			5.		6.	
	H	M	O	Parada	Parada	Trabajo	Estudio	Otros	Si	No	Si	No
1		X		3	5	X			X			X
2		X		P	6	X			X		X	
3		X		P	5	X			X			X
4		X		4	P		X			X		X
5	X			4	P	X			X		X	
6	X			5	P		X		X		X	
7		X		5	6			X		X		X
8	X			4	P	X			X			X
9	X			1	4	X				X	X	
10		X		3	9		X			X	X	
11	X			4	P	X				X	X	
12	X			4	P	X				X	X	
13		X		5	6			X		X		X
14	X			4	P	X			X			X
15	X			2	P	X			X		X	
16		X		3	P			X	X		X	
17		X		6	P	X				X	X	
18	X			5	P		X			X	X	
19		X		9	P			X	X		X	
20	X			1	4	X				X		X
21	X			2	P	X			X			X
22		X		3	9	X				X	X	
23		X		5	P	X			X		X	
24	X			4	9		X			X	X	
25		X		3	9			X		X	X	
26	X			P	4		X		X			X
27	X			5	7			X		X		X
28	X			6	9	X				X	X	
29	X			3	P			X	X			X
30		X		2	6			X		X	X	
31		X		1	7		X			X		X
32		X		P	8	X				X		X
33	X			1	P			X	X			X
34		X		3	P			X	X			X
35	X			6	9		X			X	X	
36	X			P	3			X	X		X	
37	X			P	4	X			X		X	
38		X		P	3			X	X			X
39		X		P	3		X		X			X
40		X		4	8	X				X		X
41		X		4	9	X				X	X	
42	X			5	8	X				X		X
43		X		P	1	X			X			X
44		X		8	9			X	X			X
45		X		8	P		X		X		X	
46		X		7	P		X		X			X
47	X			6	P			X		X	X	
48		X		9	P	X			X		X	
49		X		6	9		X		X		X	
50	X			5	P		X			X	X	

Tabla 2. Formato con resultado de las encuestas en la ruta 16-14 Aeropuerto.

RUTA 16-14 AEROPUERTO												
	1.			2.	3.	4.			5.		6.	
	H	M	O	Parada	Parada	Trabajo	Estudio	Otros	Si	No	Si	No
1	X			P	5	X			X		X	
2	X			P	5		X		X		X	
3	X			1	P			X	X		X	
4		X		6	P	X			X			X
5		X		5	6			X		X		X
6	X			P	1			X		X	X	
7		X		3	6	X				X		X
8	X			4	P			X	X		X	
9		X		2	P			X	X		X	
10	X			2	5			X		X		X
11		X		P	5	X			X		X	
12	X			1	5	X				X		X
13		X		1	5			X		X		X
14	X			3	P		X		X			X
15		X		4	P			X		X	X	
16		X		3	P			X	X			X
17		X		5	6	X				X	X	
18		X		5	6			X		X		X
19	X			2	5	X				X	X	
20	X			P	5			X	X			X
21	X			P	5			X	X			X
22	X			P	1	X			X			X
23	X			P	4	X			X		X	
24		X		P	5	X				X	X	
25		X		P	5			X	X		X	
26	X			1	5		X			X	X	
27		X		2	6	X				X	X	
28		X		2	6			X		X		X
29		X		5	P			X	X			X
30		X		5	P			X	X		X	
31	X			P	4	X			X			X
32		X		P	4			X	X			X
33	X			5	6			X	X		X	
34		X		6	P		X		X		X	
35	X			6	P	X			X		X	
36	X			P	5			X	X			X
37	X			4	6			X		X		X
38	X			4	6	X				X		X
39		X		P	5			X	X		X	
40		X		5	6	X			X		X	
41		X		P	6			X	X		X	
42	X			5	P			X	X		X	
43		X		5	P	X			X			X
44	X			5	P	X				X		X
45	X			5	P			X		X	X	
46		X		5	6			X	X		X	
47		X		P	5			X	X		X	
48	X			6	P			X	X		X	
49	X			3	P	X			X			X
50	X			3	P	X			X		X	

Estas encuestas se realizaron en unas horas específicas, donde se esperaba que hubiera más demanda de pasajeros, es decir en horas pico.

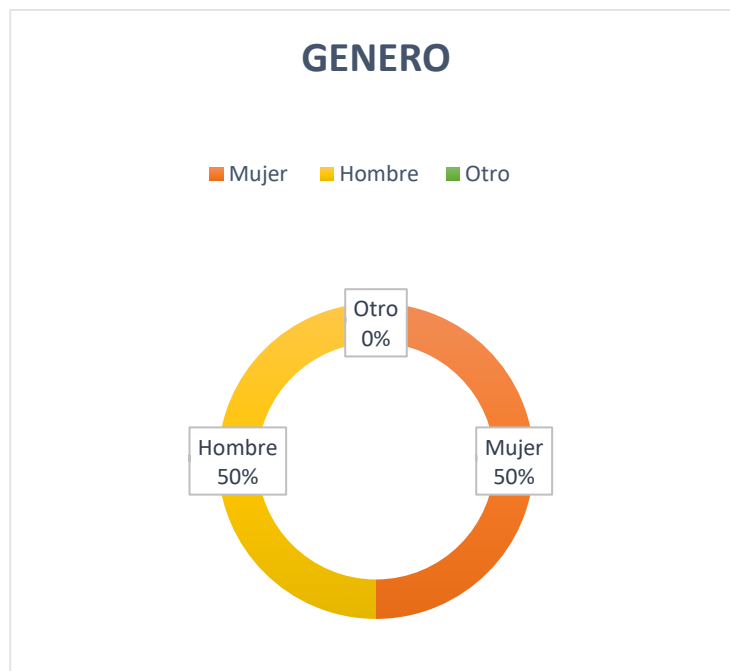
Los otros datos obtenidos fueron suministrados por una empresa privada de TransMilenio que actúa en la zona de Engativá y es la encargada de la flota de alimentación de esa zona. Se le solicitaron datos de aforos de ascenso y descenso en cada parada para cada ruta, los tiempos de ciclo y la demanda de pasajeros. Estos datos son de importante relevancia para la realización del modelo de gravedad y gracias a estos se llegó a un modelo final.

## 5.2 Análisis de los Resultados de la Encuesta

Los resultados arrojados por las encuestas ayudaron a tener una visualización más clara del uso que le dan los usuarios a cada ruta.

Para obtener información más clara se hizo un balance al momento de realizar el sondeo, como se muestra en la ilustración 16, donde se evidencia un 50% de mujeres y 50% de hombres entrevistados para reunir información sobre el uso de las rutas alimentadoras.

Ilustración 16. Resultados de sondeo por género.



Para las rutas 16-2 de Engativá Centro y 16-14 del Aeropuerto se evidencio que de las 50 personas entrevistadas en cada una, el 38% y 32% respectivamente, son clasificadas como usuarios paseadores, para la identificación de estos usuarios que evaden el pasaje, se revisó en los resultados de las encuestas que usuarios se subían al servicio en paradas diferentes al Portal y cuantas de estas no se bajaban en este, es decir, usuarios que hacían uso del alimentador con el fin de hacer desplazamientos cortos aprovechando que este servicio no cuenta con torniquetes donde se pueda validar un pasaje.

Ilustración 17. Evasores del pasaje ruta 16-2 Engativá Centro.

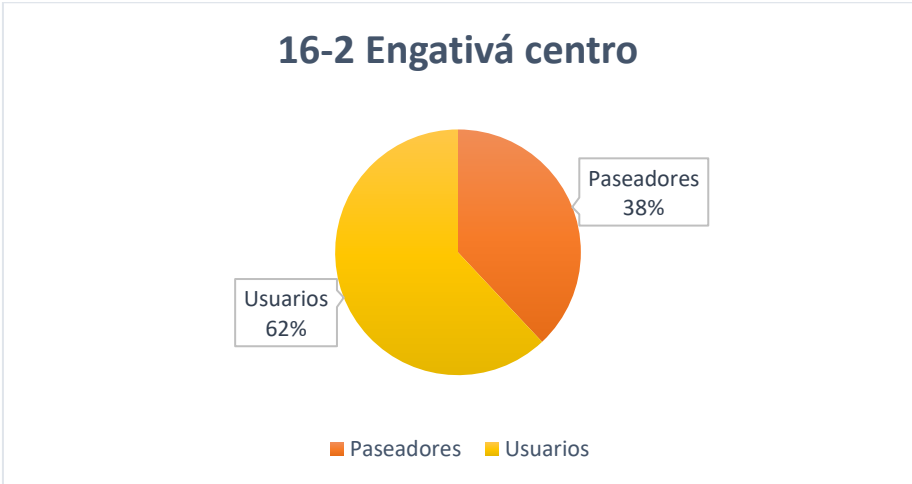
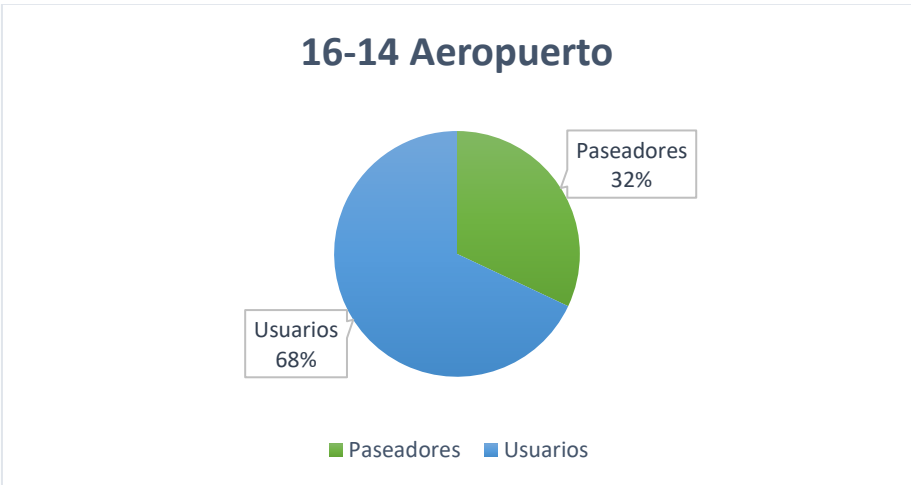
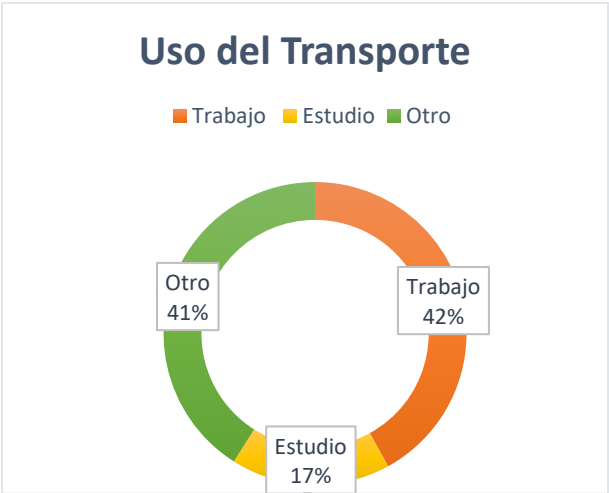


Ilustración 18. Evasores del pasaje 16-14 Aeropuerto.



En cuanto al motivo del uso de los alimentadores el 42% hace uso de este para dirigirse al trabajo, el 17% para dirigirse a su lugar de estudio y el 41% lo usan para otro tipo de actividades diferentes, se puede estimar que dentro de ese porcentaje de usuarios que usan el transporte para otras actividades diferentes al estudio y al trabajo se podrían encontrar usuarios “paseadores”, que suelen tomar el transporte para trayectos cortos fuera de la tarifa del pasaje.

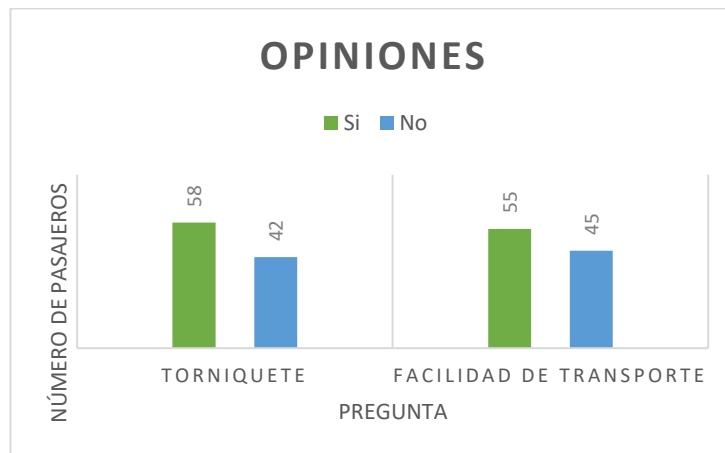
Ilustración 19. Resultados del sondeo por uso del transporte.



Tomando como referencia las preguntas de accesibilidad al sistema se logra evidenciar que un 58% de personas están de acuerdo con implementar el sistema de torniquete en los alimentadores con el fin de generar el pago de la tarifa al ingresar al vehículo en lugar de validar su pasaje en el Portal. Por otro lado, el 55% de personas sienten que presentan una facilidad razonable para iniciar su desplazamiento haciendo uso del servicio de TransMilenio, lo cual no es un porcentaje ideal, se esperaría que al menos tres cuartiles de los usuarios tuvieran un fácil acceso al sistema.



Ilustración 20. Resultados del sondeo por opiniones.



### 5.3 Aplicación del Modelo

Se realizan matrices de Origen-Destino y de tiempos de viaje para cada ruta alimentadora y esto brinda una visión detallada de la distribución del usuario y factores que afectan la movilidad de los paseadores. Este estudio permite identificar las estaciones de mayor atractivo y analizar los tiempos de viaje promedio, destacando áreas críticas que podrían mejorar mediante ajustes en la frecuencia de servicio, asignación de recursos y planificación de rutas. La construcción de esta matriz implica la recopilación de los datos administrado por una empresa de TransMilenio sobre los viajes realizados, esto, para determinar los flujos de viajes entre diferentes orígenes y destinos.

#### 5.3.1 Modelo de la ruta 16-2 Engativá Centro

Tabla 3. Salida de los resultados del modelo para la ruta 16-2 Engativá - Centro.

O	D	Tij	LN(Tij)	Cij
P	1	0.005076142	-5.28320373	20
P	2	0.00104126	-6.86732383	24
P	3	0.000713832	-7.24486223	18
P	4	0.000716969	-7.24047764	25
P	5	0.000459149	-7.6861368	18
P	6	0.000275701	-8.19619358	17
P	7	0.000328376	-8.02135196	24
P	8	0.00028629	-8.15850523	26
P	9	0.000264934	-8.2360285	25

1	2	0.000956524	-6.95220424	93
1	3	0.000902527	-7.01031187	96
1	4	0.000611883	-7.39896986	90
1	5	0.00053819	-7.52729825	89
1	6	0.000349861	-7.95797348	91
1	7	0.000317871	-8.05386438	98
1	8	0.000237541	-8.34516833	91
1	9	0.000223591	-8.40569402	89
1	P	0.000237142	-8.3468515	0
2	3	0.001012731	-6.89510416	14
2	4	0.000784683	-7.15023076	15
2	5	0.000697934	-7.26738585	15
2	6	0.000532481	-7.53796266	18
2	7	0.000274533	-8.20043802	11
2	8	0.000241022	-8.33062262	12
2	9	0.000251295	-8.28888247	13
2	P	0.000194114	-8.54706263	0
3	4	0.0007438	-7.20373791	47
3	5	0.000731951	-7.21979689	52
3	6	0.000429565	-7.75273796	48
3	7	0.00040771	-7.8049538	54
3	8	0.000309885	-8.07930819	51
3	9	0.000321632	-8.04210319	55
3	P	0.000293618	-8.13322927	0
4	5	0.000738989	-7.21022744	25
4	6	0.000601391	-7.41626572	32
4	7	0.000443951	-7.71979599	28
4	8	0.00033176	-8.01109994	26
4	9	0.000392976	-7.84176313	32
4	P	0.000332963	-8.00747806	0
5	6	0.000564114	-7.48025434	107
5	7	0.00052485	-7.55239742	118
5	8	0.00046176	-7.68046562	129
5	9	0.000434073	-7.74229868	126
5	P	0.000435893	-7.73811457	0
6	7	0.000656576	-7.32847191	38
6	8	0.000584015	-7.44558443	42
6	9	0.000521921	-7.55799496	39
6	P	0.000497232	-7.60645459	0
7	8	0.000740702	-7.20791278	84
7	9	0.000670435	-7.30758428	79
7	P	0.000707334	-7.25400742	0
8	9	0.001069301	-6.84075023	21
8	P	0.001022652	-6.88535628	0
9	P	0.002096436	-6.16751649	0

Tabla 4. Factores de ajuste para la ruta 16-2 Engativá - Centro.

K	=	0.000497202
B	=	-7.54999E-05

Los resultados del modelo se presentan en tres matrices: La primera matriz representa la extrapolación de datos de las encuestas Origen-Destino; la segunda es de tiempos de viaje y la tercera es con la que se conocen el número de paseadores en el sistema de alimentación.

Tabla 5. Matriz de extrapolación de datos encuesta origen – destino para la ruta 16-2 Engativá - Centro.

D O	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P	Pi
P	0	20	24	18	25	18	17	24	26	25	0	197
1	0	0	93	96	90	89	91	98	91	89	94	831
2	0	0	0	14	15	15	18	11	12	13	10	108
3	0	0	0	0	47	52	48	54	51	55	50	357
4	0	0	0	0	0	25	32	28	26	32	27	170
5	0	0	0	0	0	0	107	118	129	126	126	606
6	0	0	0	0	0	0	0	38	42	39	37	156
7	0	0	0	0	0	0	0	0	84	79	83	246
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	20	41
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aj	0	20	117	128	177	199	313	371	461	479	477	

Tabla 6. Matriz de tiempos de viaje para la ruta 16-2 Engativá - Centro.

D O	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P	Pi
P	0	10	15	19	21	26	29	33	37	39	48	277
1	0	0	5	9	11	16	19	23	27	29	38	177
2	0	0	0	4	6	11	14	18	22	24	33	132
3	0	0	0	0	2	7	10	14	18	20	29	100
4	0	0	0	0	0	5	8	12	16	18	27	86
5	0	0	0	0	0	0	3	7	11	13	22	56
6	0	0	0	0	0	0	0	4	8	10	19	41
7	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	15	25
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	13
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aj	0	10	20	32	40	65	83	111	143	161	251	

Tabla 7. Matriz de paseadores para la ruta 16-2 Engativá - Centro.

D O	P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P	Pi
P	0	1	2	2	3	2	3	5	6	6	0	30
1	0	0	6	7	8	9	15	19	21	22	23	130
2	0	0	0	1	2	2	3	3	3	4	3	21
3	0	0	0	0	5	6	8	10	12	14	12	67
4	0	0	0	0	0	3	5	6	6	8	7	35
5	0	0	0	0	0	0	17	22	30	31	30	130
6	0	0	0	0	0	0	0	8	10	10	9	37
7	0	0	0	0	0	0	0	0	20	19	20	59
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	11
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aj	0	1	8	10	18	22	51	73	108	120	117	
<b>TOTAL PASEADORES</b>							411					

### 5.3.2 Modelo de la ruta 16-14 Aeropuerto:

Tabla 8. Formato con resultado de las encuestas en la ruta 16-14 Aeropuerto.

O	D	Tij	LN(Tij)	Cij
P	1	0.010989011	-4.51085951	8
P	2	0.00530504	-5.23909801	14
P	3	0.002113271	-6.15951813	10
P	4	0.000766675	-7.17344733	6
P	5	0.000955566	-6.95320654	10
P	6	0.000790576	-7.14274835	10
P	7	0.000519751	-7.56216163	7
P	8	0.000824176	-7.10112667	12
1	2	0.004137931	-5.48755937	15
1	3	0.002461538	-6.00696873	16
1	4	0.001674419	-6.39228928	18
1	5	0.001113043	-6.80065714	16
1	6	0.000978417	-6.92957433	17
1	7	0.000756757	-7.18646868	14
1	8	0.0005	-7.60090246	10
1	P	0.000231202	-8.3722188	0
2	3	0.002487562	-5.99645209	26
2	4	0.001735509	-6.35645482	30
2	5	0.001297859	-6.64703965	30
2	6	0.001037976	-6.87048301	29
2	7	0.001042087	-6.86652998	31
2	8	0.000870647	-7.04627421	28
2	P	0.000231202	-8.3722188	0
3	4	0.001823985	-6.30673139	32
3	5	0.001364024	-6.59731622	32
3	6	0.001340104	-6.61500777	38
3	7	0.001093005	-6.81882471	33
3	8	0.001164216	-6.75570765	38
3	P	0.00026155	-8.24888355	0

4	5	0.001586369	-6.44630754	27
4	6	0.001506903	-6.497699	31
4	7	0.001369613	-6.59322717	30
4	8	0.001393581	-6.57587853	33
4	P	0.000313997	-8.06612616	0
5	6	0.001767007	-6.33846787	14
5	7	0.001303936	-6.64236827	11
5	8	0.001315789	-6.63331843	12
5	P	0.000603919	-7.41206975	0
6	7	0.002286902	-6.08055709	22
6	8	0.002211538	-6.11406687	23
6	P	0.000529591	-7.54340575	0
7	8	0.0025	-5.99146455	4
7	P	0.001032702	-6.87557638	0
8	P	0.00172117	-6.36475076	0

Tabla 9. Factores de ajuste para la ruta 16-14 Aeropuerto.

K	=	0.00081905
B	=	0.022295917

Tabla 10. Matriz de extrapolación de datos encuesta origen – destino para la ruta 16-14 Aeropuerto.

D O	P	1	2	3	4	5	6	7	8	P	Pi
P	0	8	14	10	6	10	10	7	12	14	91
1	0	0	15	16	18	16	17	14	10	19	125
2	0	0	0	26	30	30	29	31	28	27	201
3	0	0	0	0	32	32	38	33	38	31	204
4	0	0	0	0	0	27	31	30	33	27	148
5	0	0	0	0	0	0	14	11	12	20	57
6	0	0	0	0	0	0	0	22	23	20	65
7	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	10
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	417	417
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P											0
Aj	0	8	29	52	86	115	139	148	160	581	0

Tabla 11. Matriz de tiempos de viaje para la ruta 16-14 Aeropuerto.

D O	P	1	2	3	4	5	6	7	8	P		Pi
P	0	3	5	7	9	11	14	18	21	26		114
1	0	0	2	4	6	8	11	15	18	23		87
2	0	0	0	2	4	6	9	13	16	21		71
3	0	0	0	0	2	4	7	11	14	19		57
4	0	0	0	0	0	2	5	9	12	17		45
5	0	0	0	0	0	0	3	7	10	15		35
6	0	0	0	0	0	0	0	4	7	12		23
7	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8		11
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		5
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
												0
Aj	0	3	7	13	21	31	49	77	101	146	0	

Tabla 12. Matriz de paseadores para la ruta 16-14 Aeropuerto.

D O	P	1	2	3	4	5	6	7	8	P		Pi
P	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4		12
1	0	0	1	1	2	2	2	2	1	6		17
2	0	0	0	2	2	3	3	3	3	9		25
3	0	0	0	0	3	3	4	4	4	10		28
4	0	0	0	0	0	3	4	3	4	9		23
5	0	0	0	0	0	0	2	2	2	7		13
6	0	0	0	0	0	0	0	3	3	8		14
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3		4
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178		178
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
												0
Aj	0	1	2	4	8	12	16	18	19	234	0	

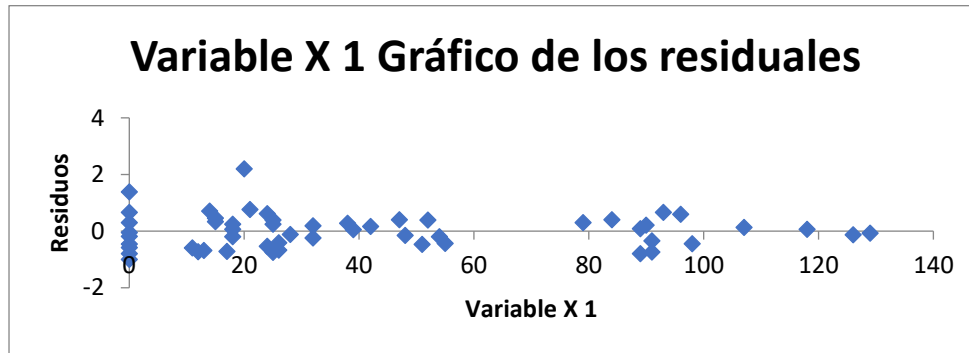
<b>TOTAL PASEADORES</b>	80
-------------------------	----

El modelo fue inicialmente ajustado usando las matrices de Origen-Destino y de tiempos de viaje. La variabilidad de los datos es sensible a factores como horarios, época del año e incidentes viales, los cuales afectan el número de usuarios y los tiempos de ciclo de viaje de los buses en el sistema de alimentación. La interpretación de indicadores del modelo, como el coeficiente de correlación múltiple (R), el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y el error típico, señaló una correlación débil y una capacidad explicativa limitada del modelo en relación con la variabilidad de los flujos de viaje observados.

Tabla 13. Tabla de los factores de ajuste de la regresión aplicada

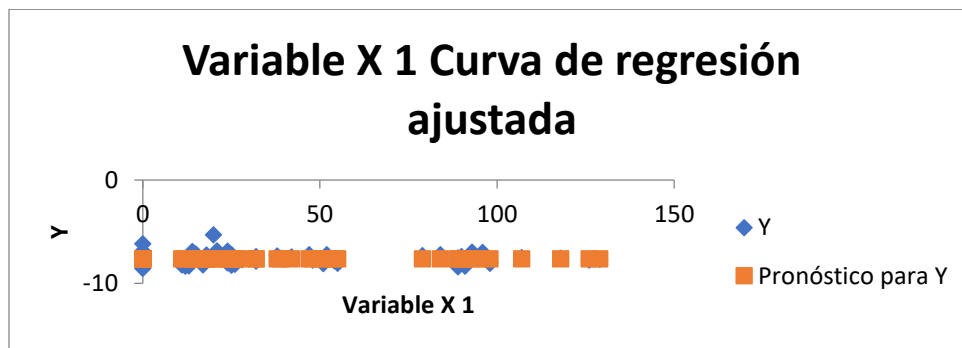
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-7.606514415	0.122388086	-62.15077519	1.7804E-50	-7.852104077	-7.360924754	-7.852104077	-7.360924754
Variable X 1	-7.54999E-05	0.002181018	-0.034616808	0.972517841	-0.004452032	0.004301032	-0.004452032	0.004301032

Ilustración 17. Gráfico de los residuales.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18. Curva de regresión ajustada.



Fuente: Elaboración propia

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

Las matrices Origen-Destino y de tiempos de viaje para cada ruta alimentadora proporcionaron un panorama detallado de la distribución de usuarios y los factores que podrían influir en la movilidad de los paseadores. La identificación de estaciones atractivas, así como el análisis de los tiempos de viaje promedio, destacaron áreas críticas que podrían beneficiarse de ajustes en la frecuencia de servicio, asignación de recursos y planificación de rutas.

En el caso del Alimentador 16-2, se observó una concentración significativa de flujos de viaje entre ciertas estaciones, siendo las paradas 1, 3, 5 y 7 las estaciones en donde existe un mayor flujo, lo que sugiere una demanda específica en esos segmentos. Los tiempos de viaje también variaron, con algunos trayectos más rápidos que otros, destacando la necesidad de optimizar la eficiencia en esas rutas, dado los largos tiempos de ciclos de trayecto que es promedio son de 40 minutos.

Por otro lado, el Alimentador 16-14 exhibió flujos de viaje y tiempos de viaje que señalan patrones únicos y áreas que podrían beneficiarse de mejoras en la planificación del transporte. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta ruta está directamente asociada con la alimentación de las centrales aéreas de Bogotá (puente aéreo, aeropuerto internacional y centrales de carga aérea), por lo tanto, muchos de los usuarios usan este medio de transporte para hacer conexión entre centrales. Se observó una concentración significativa de flujos de viaje dentro de las paradas 2, 3 y 8.

El análisis de estas matrices arrojó información sobre posibles áreas de intervención, pero también subrayó la complejidad del comportamiento de los usuarios y la necesidad de considerar factores cualitativos y contextuales. La interpretación de los resultados destaca la importancia de una evaluación continua, la recopilación de datos adicionales y la adaptación iterativa del modelo y las estrategias de transporte para abordar de manera efectiva la presencia de paseadores.

El modelo de gravedad implementado para la identificación de paseadores dentro de las dos rutas alimentadoras al sistema de TM de Bogotá revela una serie de hallazgos significativos y desafíos inherentes para el funcionamiento efectivo del sistema. Inicialmente, el modelo fue ajustado utilizando matrices Origen-Destino y de tiempos de viaje, siendo la calidad de los datos una consideración primordial, dado que la variabilidad de los datos es sensible a factores horarios, época del año e incidentes viales que alteran el número de usuarios que usan el sistema de alimentación y los tiempos de ciclo de viaje de los



buses. Lo anterior es notorio al realizar la interpretación de los indicadores del modelo, como el coeficiente de correlación múltiple ( $R$ ), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el error típico, que indicaron una correlación débil y una capacidad explicativa baja del modelo respecto a la variabilidad de los flujos de viaje observados.

Los resultados de la regresión lineal aplicada para identificar patrones de paseadores también arrojaron información valiosa, analizando el coeficiente de determinación ajustado, se evidenció que la inclusión de las variables independientes en el modelo podría no mejorar su capacidad predictiva, señalando posiblemente la presencia de variables irrelevantes o no consideradas en el análisis. Además, el error típico indica una dispersión significativa entre los valores predichos y observados. Este desempeño deficiente del modelo sugiere la necesidad de una revisión a fondo de las variables incluidas y la posible incorporación de nuevas variables significativas.

En el contexto específico de las rutas alimentadoras analizadas, la matriz de gravedad ofreció información sobre los flujos de viaje y los tiempos de viaje entre estaciones. Se destacó la presencia de flujos inusuales o desproporcionados, especialmente en aquellas estaciones que no estaban directamente vinculadas al portal principal del sistema. Estos patrones sugieren la existencia de paseadores, individuos que utilizan el transporte para desplazarse entre estaciones sin necesariamente dirigirse al portal principal y que no cubren la tarifa de transporte.

El análisis del modelo revela patrones distintivos en la presencia de paseadores en las rutas alimentadoras 16-2 y 16-14 del sistema BRT de Bogotá. Dentro del ciclo del alimentador 16-2, se identificó que aproximadamente el 30% de los usuarios que utilizan el sistema corresponden a paseadores, indicando una proporción significativa de individuos que se desplazan entre estaciones sin necesariamente dirigirse al portal principal. Por otro lado, en la ruta alimentadora 16-14, se observó que alrededor del 14% de los usuarios son paseadores, señalando una presencia menor en comparación con la ruta 16-2. Esta diferencia

puede estar asociada principalmente a factores de uso de suelo como se mostró anteriormente en el mapa de densidad urbana, en donde se puede constatar que las áreas en de influencia del alimentador 16-2 es una zona residencial y las dinámicas poblacionales son diferentes; mientras que el área de influencia de la ruta 16-14 está asociada a servicios de centrales aéreas y densidades poblacionales bajas, por lo tanto, su dinámica de usuarios tanto comportamental como de uso de los servicios de transporte son completamente diferentes.

El análisis técnico y detallado de los resultados del modelo de gravedad y la aplicación de regresión lineal ofrecen una visión completa de los flujos de viaje y tiempos de viaje en las rutas alimentadoras analizadas. Estos resultados sirven como punto de partida para estrategias de mejora en la eficiencia del sistema de transporte y la identificación de áreas críticas que requieren atención. Sin embargo, también subrayan la necesidad de una comprensión profunda del contexto local y la consideración de múltiples factores para abordar de manera integral la complejidad del comportamiento de los usuarios en el sistema BRT de Bogotá.

## **7. CONCLUSIONES**

- Los resultados de la regresión lineal sugieren que el modelo utilizado para identificar patrones de paseadores puede no ser completamente efectivo, ya que la inclusión de variables independientes no mejora significativamente su capacidad predictiva. Esto destaca la necesidad de una revisión exhaustiva de las variables consideradas y la posible incorporación de nuevas variables relevantes para mejorar la precisión del modelo.
- Las diferencias en la proporción de paseadores entre las rutas 16-2 y 16-14 están directamente relacionadas con el uso del suelo y la infraestructura circundante. La presencia de paseadores en la ruta 16-2, asociada a una zona residencial, contrasta con la menor presencia en la ruta 16-14,

vinculada a centrales aéreas. Esto destaca la influencia significativa del entorno en el comportamiento de los usuarios.

- Aunque los resultados del análisis proporcionan un punto de partida para estrategias de mejora, subrayan la necesidad de un enfoque holístico. Considerar la complejidad del comportamiento de los usuarios implica no solo ajustar aspectos técnicos, sino también comprender el contexto local, las dinámicas poblacionales y los factores cualitativos para abordar de manera integral los desafíos del sistema BRT.
- La interpretación de los indicadores del modelo destaca la importancia de una evaluación continua. La dinámica del sistema de transporte está sujeta a cambios, y adaptar iterativamente el modelo y las estrategias de transporte es esencial para abordar de manera efectiva la presencia de paseadores y mantener la eficiencia del sistema a lo largo del tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Gonzales , C., & Sarmiento , I. (2009). *Modelación de la distribución de viajes en el valle de Aburrá utilizando el modelo gravitatorio*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Jstorres. (Abril de 2020). *Secretaría General - Alcaldía Mayor de Bogotá*. Obtenido de <https://archivobogota.secretariageneral.gov.co/noticias/historia-del-transporte-bogota>

Kimmelman, M. (13 de Diciembre de 2023). La ciudad que intentó resolver el problema del tráfico del mundo. *New York Times* .

Monge, J. A. (2011). *Programa de Infraestructura del Transporte*. Bogotá.

Moovit. (2023). *Moovit*. Obtenido de [https://moovitapp.com/index/es-419/transporte\\_p%C3%ABlico-line-16\\_2-Bogota-762-775038-613815-0](https://moovitapp.com/index/es-419/transporte_p%C3%ABlico-line-16_2-Bogota-762-775038-613815-0)

Moreno Torres, Á. M. (s.f.). *Bogotá Cómo Vamos*. Obtenido de <https://bogotacomovamos.org/localidades/engativa/>

N. C. (04 de Febrero de 2020). *Canal Capital*. Obtenido de <https://www.canalcapital.gov.co/noticias-capital-migracion/transmilenio-aclara-informacion-sobre-cobro-buses-alimentadores#:~:text=De%20esta%20forma%2C%20el%20sistema,se%20presta%20de%20manera%20gratuita>.

*Nuevo Fontibón* . (25 de Diciembre de 2020 ). Obtenido de <https://nuevofontibon.com/?p=1878>

Perea, A. Y. (2008). *Modelacion de distribución del transporte de carga por carretera de productos Colombianos*. Medellín .

Portafolio. (04 de Febrero de 2020). Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/transmilenio-anuncia-que-uso-de-alimentadores-ya-no-sera-gratuito-537761>

Secretaría Distrital de Movilidad. (2023). *Encuesta de Movilidad 2023*. Obtenido de <https://www.encuestademovilidad2023.com/>

Secretaría Distrital de Planeación. (2017). *Informe Localidad de Engativá*. Bogotá.

Secretaría Distrital de Planeación. (2020). *Plan de ordenamiento territorial*. Bogotá.

TransMilenio. (11 de 05 de 2020). *Sitp*. Obtenido de <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/91068/abce-del-servicio-de-alimentacion-de-transmilenio/>