

**EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA DIAGONAL 16 SUR ENTRE LA AVENIDA QUITO Y LA TRANSVERSAL 53 DE LA ZONA DE CIUDAD MONTES, ANTE SU CONVERSIÓN EN RUTA ALIMENTADORA DEL SISTEMA DE TRANSMILENIO, COMPARANDO TRES SISTEMAS DE TRANSPORTE: TRANVÍA, BUS ALIMENTADOR Y BICI TAXI**



**EDNA CARIME OCHOA HOYOS  
RONALD MAURICIO GONZÁLEZ LOZANO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2018**

**EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA DIAGONAL 16 SUR ENTRE LA AVENIDA  
QUITO Y LA TRANSVERSAL 53 DE LA ZONA DE CIUDAD MONTES, ANTE SU  
CONVERSIÓN EN RUTA ALIMENTADORA DEL SISTEMA DE TRANSMILENIO,  
COMPARANDO TRES SISTEMAS DE TRANSPORTE: TRANVÍA, BUS ALIMENTADOR  
Y BICI TAXI**

**EDNA CARIME OCHOA HOYOS  
RONALD MAURICIO GONZÁLEZ LOZANO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al  
Título de Ingeniero Civil**

**Directora**

**Ingeniera KELLY ANDREA RODRÍGUEZ POLO**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.  
2018**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

**El Trabajo de grado titulado “EVALUACIÓN OPERACIONAL DE LA DIAGONAL 16 SUR ENTRE LA AVENIDA QUITO Y LA TRANSVERSAL 53 DE LA ZONA DE CIUDAD MONTES, ANTE SU CONVERSIÓN EN RUTA ALIMENTADORA DEL SISTEMA DE TRANSMILENIO, COMPARANDO TRES SISTEMAS DE TRANSPORTE: TRANVÍA, BUS ALIMENTADOR Y BICI TAXI.”** Presentado por los estudiantes Edna Carime Ochoa Hoyos y Ronald Mauricio González Lozano, en cumplimiento del requisito para optar al título de “Ingeniero Civil” fue aprobada por el director.

---

Ing. KELLY ANDREA RODRÍGUEZ POLO  
Director

---

Ing.  
Jurado

---

Ing.  
Jurado

## RESUMEN

El presente trabajo busca determinar el sistema de alimentación factible técnico, ambiental y económicamente mediante la comparación de tres modos posibles que sirva como alimentador y complemento al sistema principal de transporte TransMilenio, en las rutas de acceso que conecta las viviendas y la Estación SENA del tramo de estudio, mediante microsimulaciones de escenarios, a través de datos reales y la introducción de características y comportamientos evidenciados para el sector. Los datos implantados sugieren estudiar las necesidades de los usuarios del corredor, teniendo en cuenta las dinámicas y la cotidianidad de este, a fin de obtener un sistema que vincule un modo (vehículo) que potencialice las ventajas que pueda brindar.

El planteamiento de estrategias que mejoren la movilidad de un sector de la ciudad es desarrollado, persiguiendo el objetivo de mitigar las necesidades de movilidad de la UPZ Ciudad Montes, específicamente en el corredor de la Diagonal 16 Sur entre la Transversal 53 y la Avenida Quito, y el impacto positivo que se pretende lograr en tres aspectos fundamentales: funcional, económico y ambiental, como bases para el análisis, en la elección del modo alimentador, a través de los resultados de cada escenario propuesto y evaluado para conseguir el resultado más favorable para estas condiciones.

## ABSTRACT

This paper seeks to find a means of ideal urban transport that serves as a feeder and complement to the main system of transport TransMilenio, the paths that connect the houses and the station SENA of the section of study, using microsimulations of scenarios, through actual data and the introduction of characteristics and behaviors evidenced for the sector. Implanted data suggest to study the needs of the users of the corridor, taking into account the dynamics and the everyday life of this, in order to obtain a system that links a (vehicle) mode, which impel the advantages it can offer.

Approach to strategies that improve the mobility of a sector of the city is developed, pursue the aim of mitigating the mobility needs of the UPZ city Montes, specifically the Diagonal 16 South corridor between the Transversal 53 and the Avenida Quito, and the positive impact it is intended to achieve three fundamental aspects: functional, economic and environmental, as the basis for the analysis, the choice of feeder mode, through the results of each scenario proposed and evaluated for achieve the most favorable outcome for these conditions.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

La ingeniera Kelly Andrea Rodríguez, tutora de esta investigación quien, con su paciencia, orientación y conocimientos, nos ayudó a desarrollar este proyecto haciendo posible su culminación, a nuestras familias por ser el pilar y el apoyo fundamental en todos los procesos de nuestras vidas en especial en esta etapa, y a nuestros compañeros de estudio que nos acompañaron a lo largo de la carrera y con quienes compartimos el tiempo y el trabajo en equipo. A todos, nuestros más sinceros agradecimientos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
TABLA DE CONTENIDO.....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPITULO I.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 Identificación del sector y del problema .....	11
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos .....	16
1.4 Metodología.....	16
1.5 Alcance y delimitación del trabajo.....	17
CAPITULO II.....	18
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	18
2.1 Antecedentes.....	18
2.2 Marco teórico.....	19
CAPITULO III.....	25
3. DEMANDAS Y MODELACIÓN .....	25
3.1 Toma de demandas del bicitaxi actual .....	25
3.2 Toma de demandas de pasajeros de Estación SENA de TransMilenio.....	28
CAPITULO IV .....	31
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1 Escenario Base .....	32
4.2 Evaluación de resultados de escenarios por aspectos.....	36
4.2.1 Aspecto funcional.....	36
4.2.2 Aspecto económico.....	41
4.2.3 Aspecto ambiental.....	44
4.3 Matriz de comparación de escenarios.....	48
4.4 Integración al Sistema Integrado de Transporte Público (SITP).....	52
4.5 Proyección del mejor escenario .....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	60
ANEXOS.....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Viajes generados y atraídos por el corredor del Río Fucha desde y hacia las localidades de Bogotá.....	22
Tabla 2. Viajes generados y atraídos por cada UPZ del corredor del Río Fucha desde y hacia las localidades de Bogotá.....	23
Tabla 3. Volumen Bicitaxis origen, destino y total viajes en UPZ Ciudad Montes.....	27
Tabla 4. Volumen peatones flujo de entrada y flujo de salida puente peatonal estación SENA. Fuente: Elaboración propia.....	29
Tabla 5. Comportamiento usuarios Estación Sena que salen a UPZ Ciudad Montes. ....	32
Tabla 6. Cantidad de vehículos por cada medio de transporte para demanda potencial. .	33
Tabla 7. Valor de factores de ponderación total para elección del medio de transporte. .	35
Tabla 8. Resumen costos de vehículos, infraestructura y mantenimiento por escenario. .	42
Tabla 9. El peso de los automóviles densidad, elección modal y polución del aire por vehículos de transporte de personas.....	46
Tabla 10. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Bicitaxi actual. ....	48
Tabla 11. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Bicitaxi con corredor exclusivo. ....	49
Tabla 12. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Bicitaxi con motor.....	49
Tabla 13. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario del Tranvía. ....	50
Tabla 14. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Alimentador Vans 6 puestos. ....	51
Tabla 15. Calificación general del proyecto según factores considerado para los escenarios Alimentador vans 16 puestos, colectivo y bus. ....	51
Tabla 16. Tasas anuales de crecimiento del tránsito para Bogotá por localidad .....	54



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Motivo de los viajes generados por los municipios y atraídos por el corredor. .	20
Figura 2. Motivo de los viajes generados por el corredor y atraídos por los municipios. .	21
Figura 3. Viajes origen – destino Bicitaxis UPZ Ciudad Montes. ....	26
Figura 4. Suma viajes origen - destino en Bicitaxi en UPZ Ciudad Montes. ....	26
Figura 5. Flujo de entrada y flujo de salida del puente peatonal estación SENA. ....	28
Figura 6. Densidad por escenario modelado. ....	36
Figura 7. Demoras por escenario modelado. ....	37
Figura 8. Velocidad por escenario modelado. ....	38
Figura 9. Volumen por escenario modelado. ....	39
Figura 10. Tiempo de viaje por escenario modelado. ....	39
Figura 11. Tiempo de viaje en los modos de transporte más utilizados, grandes ciudades de América Latina (2007). ....	40
Figura 12. Comparación de variables de tráfico y transporte y tiempos de viaje según modos. ....	41
Figura 13. Costos de implementación y puesta en marcha de escenarios. ....	43
Figura 14. Comparación inversión inicial y costos de operación por escenario. ....	44
Figura 15. Emisiones de CO, NOx y VCO, por escenario simulado. ....	45
Figura 16. Consumo de combustible por escenario simulado. ....	46
Figura 17. Comparación de emisiones y consumo de combustible por escenario simulado. ....	47
<i>Figura 18. Densidad para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor). ....</i>	<i>55</i>
Figura 19. Demoras para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor). ....	55
Figura 20. Velocidad para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor). ....	56
Figura 21. Volumen para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor). ....	56
Figura 22. Emisiones de CO, NOx y VCO, para mejor escenario simulado (Bicitaxi con motor). Fuente: Elaboración propia. ....	57
Figura 23. Consumo de combustible para mejor escenario simulado (Bicitaxi con motor). ....	57

## INTRODUCCIÓN

Los constantes problemas de movilidad en los diferentes sectores de la Ciudad de Bogotá, suponen un nuevo desafío para el transporte público urbano, repensar y replantear complementos para estos sistemas comprendiendo los diferentes factores que intervienen en la elección de un vehículo, permite abrir paso a mejorar la calidad de vida de los usuarios, que hoy deben recorrer largos trayectos a pie para acceder al sistema principal de transporte público urbano, debido a la ausencia de rutas eficientes alimentadoras dentro del sector.

Esta falta de eficiencia se relaciona con la localización de estaciones intermedias, poniéndose de manifiesto un problema cotidiano, que se vive dentro de muchos sectores de la ciudad y que requiere de un tratamiento y la implantación de un medio, que sea producto de la evaluación particular de las condiciones de un área, buscando un impacto favorable para los desplazamientos del área de influencia de la Estación del Sistema TransMilenio. (González, 2007). Por tanto, se requieren estrategias y criterios de evaluación que lleven a tomar decisiones adecuadas al respecto, que fomenten el uso y adecuado acceso al transporte público urbano principal de la ciudad.

Este estudio desarrolla el análisis y comparación entre tres vehículos: bicitaxi, tranvía y bus, desde diferentes alternativas o escenarios para cumplir la tarea de modo alimentador. Se analizan las ventajas y desventajas de cada escenario planteado con estos vehículos, considerando las variables del entorno del tramo de investigación, la caracterización de la zona, la cantidad y necesidades de los usuarios, y la infraestructura disponible.

Para el logro del objetivo se trabajan tres aspectos: el funcional, el económico y el ambiental. A partir de estos criterios, se evalúan las variables arrojadas para cada uno de los escenarios planteados y modos. Se comparan las alternativas posibles, para saber qué modo de transporte es ideal en cada escenario, de acuerdo a su competitividad, eficiencia, seguridad y baja contaminación.

# CAPITULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Identificación del sector y del problema

En el sector de Ciudad Montes, perteneciente a la localidad de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá, se identifica un problema de conexión del sistema Troncal de Transmilenio que circula por la avenida NQS. Actualmente se presenta inexistencia de un sistema de alimentación hacia la estación Sena, la cual hace parte del sistema troncal y lo que se traduce como una dificultad para los habitantes del tramo de estudio que utilizan este medio de transporte público como forma de movilización diaria. Ante esta situación, y a pesar que los usuarios han improvisado diferentes formas de llegar hasta el punto de la Estación SENA, bien sea a pie o realizando el pago a vehículos particulares que realizan este recorrido, sin duda alguna esto se ha vuelto una afectación que se refleja en pérdida de tiempo y recursos económicos. Es destacable que caminar resulta beneficioso para las personas, pero al momento de evaluar sus desplazamientos pueden argumentar molestias frente a la percepción del sistema, de allí viene el fenómeno de la informalidad del transporte en diferentes áreas de la ciudad. (Urazán & Velandia, 2012).

El sistema de transporte masivo TransMilenio viene presentando dificultad para alcanzar diferentes zonas de la ciudad, por ser un sistema troncal, esto conlleva a que desplazarse a una estación cercana signifique recorrer largas distancias, por lo cual es necesario integrar los diferentes sistemas de transporte público y así facilitar el desplazamiento de las personas que lo utilizan. En la zona de Ciudad Montes a la cual sirve la Estación Sena, este es un problema constante para su alto número de usuarios, los cuales ven limitado su desplazamiento hasta llegar a la estación; esta información se constata con un informe del perfil económico y empresarial: Localidad Puente Aranda de la Cámara de Comercio de Bogotá (2007), que expone, que a pesar, que la localidad del tramo de estudio se beneficia del sistema Transmilenio por disponer de vías principales la zona no dispone de rutas de buses alimentadores que acerquen a la población de los barrios al sistema Troncal de TransMilenio.

La solución consiste en encontrar un medio que permita integrar el sistema de movilidad principal del sector, dando respuesta a la necesidad interna de conexión para que la movilidad de las personas, a través del servicio público se oriente y consolide implementando un modo de alimentación que sea eficiente, sostenible, e impacte de forma positiva, brindando ventajas a la zona de intervención. Litman (2017) resalta, que un sistema de transporte se basa en una red integrada que cumple con su objetivo cuando los modos que la componen son eficientes y de calidad para los usuarios. El principal objetivo

de este estudio consiste en encontrar un modo que aplique como solución y que conlleve a este enfoque.

Los ciudadanos de todos los sectores de Bogotá deben contar con la integración de modos de transporte cuyo objetivo se base en brindar accesibilidad, beneficios y una percepción clara para su uso (Urazán & Velandia, 2012). Esta debe ser una clara premisa de los administradores del transporte público para cumplir con las expectativas de sus usuarios a través de la articulación del esquema de intermodalidad que ayuda a cumplir este propósito.

El tramo vial objeto de estudio se encuentra localizado en la diagonal 16 Sur donde se requiere la implementación de un plan de acción, a través del corredor del Río Fucha, entre la Avenida Ciudad de Quito y la transversal 53, donde se realiza un diagnóstico de la situación actual y el prediseño de alternativas para la integración del corredor vial como vía alimentadora de la Estación Sena del sistema Transmilenio en Bogotá. Estas alternativas se plantean siguiendo las rutas y movimientos que hacen actualmente los usuarios del sistema en este punto, siguiendo el modelo creado producto de la autogestión de los ciudadanos a través del transporte informal que surgió a partir de la necesidad de movilización. (Corena, 2014)

La longitud de la diagonal 16 Sur que abarca la línea del corredor es de 2.12 km y los usuarios a beneficiar son 682 aproximadamente. Esta es la cantidad de pasajeros de la Estación Sena que se ven directamente afectados, a causa de la distribución de los sistemas troncales, donde las estaciones llegan a presentar una distancia considerable para la mayoría de usuarios, incrementándose sus tiempos de desplazamiento y costos de transporte. Es decir, los diseños que tienen las estaciones de los BRT no se incorporan realmente al tejido urbano y los alrededores de las áreas donde se localizan (Suzuki, Cervero & Iuchi, 2014).

Para las personas del sector se identifica este problema de accesibilidad al sistema masivo de transporte, que empieza desde el tiempo que toma acceder a este, así como el aumento del costo asociado a la alternativa que utilizan para llegar a la estación SENA y salir de esta hacia sus hogares. Actualmente en la zona de Ciudad Montes, se ha promovido como medio de transporte público el uso del bicitaxi, el cual presenta una demanda elevada y que va en continuo aumento; esta alternativa aunque ha venido subsanando el problema de conexión para los pasajeros, realmente no está integrado al sistema de transporte público de la ciudad, ni su actividad es legal, además añade un costo adicional en el servicio de transporte para los usuarios; por tal motivo es importante persistir en la búsqueda de estrategias que mejoren la movilidad urbana y que estén encaminadas a contribuir en el bienestar de la población. Si bien es cierto que las administraciones distritales han hecho esfuerzos por implementar el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) el cual se fundamenta en la integración de todos los sistemas de transporte existentes, de manera que se abarque la totalidad del área urbana de la ciudad de Bogotá; es evidente que el SITP no ha logrado su objetivo desde que empezó el proyecto de movilidad para la ciudad, es de allí que surge un medio informal que, aunque no es legal busca en parte aliviar y

suplir esa necesidad de transportar personas hacia tramos donde no hay forma de movilizarse a través del servicio público. Este es el caso referido al tramo de estudio del área de influencia de la Diagonal 16 Sur ubicada en Ciudad Montes donde como se ha expuesto es la forma cotidiana que usa la mayoría de pasajeros que necesitan llegar hasta la Estación SENA, siendo una alternativa para facilitar el acceso al sistema TransMilenio.

Es así, como se requiere de la búsqueda de una solución práctica, a través de un análisis elaborado con datos reales en un programa que modela el tráfico y su operación, que se pueda implementar y sea útil desde varios puntos de vista, además que esta medida se enfoque en conectar a los usuarios con el sistema de transporte principal, e integre el medio seleccionado para tal fin a su estructura, siendo capaz de solucionar racionalmente el problema actual de los usuarios, y adicionando un medio que pueda replicarse como modelo práctico para otros lugares donde exista una situación similar, dando así garantías a toda la ciudad que realmente se está cumpliendo y haciendo esfuerzos por alcanzar el objetivo del SITP, dando cumplimiento a la recomendación del Ministerio de Transporte de implementar estrategias que aseguren que la red de transporte fomente la intermodalidad para el desarrollo de los territorios y el vínculo con la infraestructura. (CONPES, 2017)

En la ciudad de Bogotá se han implementado planes de movilidad enfocados a alimentar con pasajeros el sistema troncal, en los cuales se han contemplado diferentes medios incluyendo teleféricos, y buses alimentadores, por lo cual se desea determinar para esta zona que medio de transporte permitirá un mejor complemento para Transmilenio, también se menciona para este proyecto un medio complementario no convencional e informal, pero que se encuentra en los diversos escenarios de la cotidianidad del transporte de las localidades de la ciudad, se pretende ampliar la visión para incorporar otros medios que aun con menos capacidad pueden resultar más prácticos y capaces de cumplir con esta función, aclarando que para su inclusión es necesario la reglamentación y legalización para abrir las puertas al fortalecimiento de la gestión del sistema de transporte.

En la actualidad existen diferentes medios que son utilizados para alimentar los sistemas de transporte troncal a lo largo del mundo, este estudio pretende dar respuesta para este tramo, de acuerdo a los aforos e información de la secretaria de movilidad y las características físicas del entorno, al hacer una comparación mediante microsimulaciones en PTV Vissim del tranvía, bus alimentador y bici taxi, analizándolos en diferentes escenarios y comparando una serie de variables en cada uno, para lograr la identificación de cuál es el mejor para alimentar la estación de TransMilenio SENA, teniendo como sector de demanda el ubicado en Ciudad Montes y a través del corredor de la Diagonal 16 Sur, cuya finalidad tiende a impactar de manera concreta la movilidad que constituye un componente fundamental dentro de la competitividad de las ciudades y del nivel de vida de sus habitantes, así como lo plantean los derechos reglamentarios relacionados con la movilidad. (Plan Maestro de Movilidad de Bogotá, 2006)

Teniendo en cuenta estos aspectos, se evalúan tres opciones: Bicitaxi, tranvía, bus alimentador. Cada modo presenta sus propias características (ventajas y desventajas) que fueron analizadas a través de la microsimulación individual, obteniendo resultados de cómo

es su operación de acuerdo a los datos de movilidad y las características del sector, según las necesidades y requerimientos del problema de transporte actual; es de importancia resaltar que cada modo mencionado tiene unas características de funcionalidad y eficiencia que ha llevado a que diferentes ciudades en el mundo los implementen y se hayan tenido experiencias positivas y exitosas con su uso. Su elección puede fortalecer en múltiples aspectos al transporte y a la población beneficiada, lo que puede convertir al tramo de operación en el que se desarrolle, en una zona urbana renovada y con oportunidades de crecimiento. Finalmente, la decisión de cómo o cuáles modos integrar surge de acuerdo con los requerimientos del caso que se está tratando. (Hidalgo, 2005).

Al comparar el tranvía, con el bici taxi y el bus alimentador a través de simulaciones en el software PTV Vissim (Versión 8), alimentadas con datos tomados de campo (aforos), e información proveniente de la secretaria de movilidad, se pretende realizar un modelo que se acerque a la realidad de la situación, basado en el proceso de información veraz; esto permitirá demostrar cuál de los tres modos posibles, es el que más se ajusta al sector y que puede brindar mayores ventajas, analizando variables como el costo económico, mejora en la movilidad de los usuarios y competitividad por su eficiencia, seguridad y baja contaminación. Según un estudio de IBM hecho en ciudades desarrolladas y en vías de desarrollo concluyen que los problemas de movilidad comparten un reto en común, y es buscar que las soluciones propendan por ciudades ambientalmente más limpias, y que a su vez reduzcan el tráfico y mejoren su flujo, todo esto fomentando el transporte público masivo y otras alternativas que permitan un impacto favorable desde esta perspectiva. (Houghton, Reiners & Lim, 2009). Por tal motivo es relevante considerar, la implementación de un modo de transporte complementario, que sea alternativo, amigable con el medio ambiente, y que permita alimentar la estación SENA del sistema TransMilenio.

## **1.2 Justificación**

La ciudad de Bogotá en los últimos años ha estado implementando y gestionando un sistema de transporte integrado, que permita el transporte a través de diferentes medios, cuyo eje principal es el sistema TransMilenio. A partir de este sistema construido en Bogotá (TransMilenio), se ha visto un “boom” en América Latina y el mundo. En varias publicaciones se ha afirmado que esta opción llamada BRT es una opción muy eficiente de mejoría de sistemas de transporte público en países en desarrollo con base en parámetros de capacidad, costo, tiempo de construcción y otras variables (Pardo, 2009). Por ello se hace necesario, plantear modos complementarios que tenga estas mismas características, y que permitan hacer viajes de origen y destino a las estaciones intermedias, garantizando a los usuarios desplazamientos cómodos y seguros.

El sistema de transporte masivo TransMilenio presenta dificultad para alcanzar las diferentes zonas de la ciudad, por ser un sistema troncal, esto conlleva a que desplazarse a una estación cercana signifique largas distancias, por lo cual es necesario integrar diferentes sistemas de transporte, para facilitar el desplazamiento de las personas. Para la

zona de ciudad Montes, esta es una dificultad constante, ya que hay un elevado número de usuarios, situación que limita su desplazamiento hasta la estación Sena. Por tal motivo se considera implementar un modo de transporte alternativo, amigable con el medio ambiente, y que permita alimentar la estación del sistema TransMilenio y compararlo con otros posibles sistemas de transporte complementarios. La longitud que abarcara la línea del corredor es de 2.12 km y los usuarios a beneficiar son aproximadamente 682.

Se pretende encontrar una solución con un corredor vial y un modo de transporte que sirva como ruta alimentadora del sistema TransMilenio y que brinde amplitud y mayor cobertura, de manera que se pueda incrementar su demanda en el sector de Ciudad Montes, y que de esta manera se produzca un impacto social, reduzca costos de transporte y de una mayor rapidez en los desplazamientos.

En esta propuesta se busca, a partir de los análisis y comparación de los diferentes modos de transporte, implementar como mejor opción uno de los vehículos que según los resultados de la simulación cumpla con los aspectos evaluados para la investigación, que basados en estos conceptos: funcional, económico y ambiental, revistan ejemplo de movilidad sostenible, poniendo a los usuarios como centro de las obras de transporte y se devuelva el espacio público y aire limpio al sector de impacto. Además, es importante que está opción integre las políticas de transporte público, con la gestión de la demanda, para que sea favorable y equitativa para todos los ciudadanos respecto al uso de los recursos que poseen.

Lo anterior busca, que el sistema de movilidad para Bogotá, en especial el sistema integrado al cual se desea llegar, exponga una respuesta a las necesidades internas y de conexión con los flujos de movilidad de personas y de carga en el marco de la estrategia de ordenamiento para una ciudad abierta y desconcentrada en un territorio urbano regional, orientado a consolidar el área urbana (PMM, 2006).

El sistema seleccionado como opción debe ser una buena alternativa para el propósito de alimentar el sistema troncal en materia de movilidad, adecuado como solución del área y acorde con las necesidades, espacio y demás características, produciendo condiciones favorables, para trabajar en conjunto y formar parte de un paquete integrado de transporte, para que resulte atractivo, por su versatilidad y compatibilidad con los demás vehículos, los pasajeros y el entorno, y que ayude a una positiva transformación urbana, aumentando el número de usuarios y brindando importantes beneficios en costos, tiempo, además de ser limpio, eficiente y seguro.

### **1.3 Objetivos**

#### **Objetivo general**

Plantear una solución óptima para el corredor vial de la Diagonal 16 entre la Avenida Quito y la Transversal 53, en la operación como ruta alimentadora del sistema TransMilenio, para un horizonte de 20 años, tomando como base el 2017, y a partir de las comparaciones de los tres modos de transporte como el Tranvía, Bus alimentador y Bici taxi.

#### **Objetivos específicos**

- Estimar la demanda aproximada que presenta la zona que va desde la Diagonal 16 entre la avenida Quito y la Transversal 53 para abastecer la Estación del sistema troncal TransMilenio.
- Determinar las densidades, demoras, velocidad, volumen, tiempos de viaje, costos y emisiones (gases y consumo de combustible), de los medios de transporte planteados en los escenarios de la simulación: bicitaxi, tranvía y bus.
- Comparar los resultados obtenidos de cada escenario, enfocándolos en tres aspectos: funcional (densidades, demoras, velocidad, volumen, tiempos de viaje), económico (inversión inicial, costos de operación), y emisiones (gases y consumo combustible), entre las alternativas según los medios de transporte: bicitaxi, tranvía y bus.
- Calificar a través de los factores considerados más determinantes: inversión inicial, costo de operación, emisiones, consumo de combustible, variables de tráfico y transporte, y tiempos de viaje cada uno de los escenarios planteados, con el fin de obtener a través de este método el resultado que permita seleccionar la mejor alternativa.

### **1.4 Metodología**

La metodología aplicada en este proyecto es de carácter investigativa, descriptiva y explicativa, estas actividades se describen a continuación:

- Recolección de información y caracterización de corredores e intersecciones viales.
- Toma de datos en el sitio de estudio: aforos vehiculares y peatonales, caracterización de usuarios, estimación de velocidades y levantamiento de geometría y señalización para implantación en el software de modelación,



elaborado, a través de trabajo de campo y documentación solicitada a la Secretaría de Movilidad.

- Análisis y procesamiento de información obtenida para la determinar los periodos de máxima demanda, direccionalidad, estacionalidad diaria, para construir la base de datos a usar en la construcción del escenario base en el programa de modelación PTV Vissim.
- Implementación de modelos de microsimulación de las condiciones reales en el tramo de la Diagonal 16 Sur entre la Avenida Quito y Transversal 53.
- Desarrollo y diseño de escenarios, a través de tres medios de transporte: bicitaxi, tranvía y bus, teniendo en cuenta volúmenes vehiculares, la direccionalidad y la geometría que se deberá integrar a la red vial de BRT existente.
- Evaluación de diferentes alternativas mediante microsimulación para la selección del medio de transporte más conveniente el corredor vial, a ser implementado como ruta alimentadora del Sistema TransMilenio en Bogotá, considerando la mejor opción en escenarios a 5, 10 y 20 años, para observar su comportamiento y favorabilidad a lo largo de estos periodos.

### **1.5 Alcance y delimitación del trabajo**

El tramo vial a analizar se encuentra localizado en la diagonal 16 Sur, entre la Avenida Ciudad de Quito y la transversal 53. En esta investigación se realizó un diagnóstico de la situación actual y el prediseño de alternativas para la integración del corredor vial como ruta alimentadora del sistema Transmilenio en Bogotá con la estación SENA, por medio de la elección de un vehículo (bicitaxi, tranvía o bus), que tenga el mejor comportamiento de acuerdo a los factores de valoración que determinan los aspectos planteados, según el resultado de los escenarios simulados con ayuda de un software.

El tema de la investigación se encuentra enmarcado dentro de la línea aplicada al tránsito y transporte, donde se busca una solución a través de resultados de simulaciones a un problema de movilidad y conexión a una estación del sistema troncal TransMilenio, abarcando la recopilación de datos de aforos vehiculares del tramo de estudio y aforos de usuarios de la Estación SENA, para generar las modelaciones de microsimulación con el software VISSIM (Versión 2008), obteniendo respuesta a la problemática de estudio a partir de los valores de las variables estimadas por el programa, al asignarlas y compararlas en tres aspectos: funcional, económico y ambiental, seleccionando el escenario mejor calificado, esto permite la construcción de la configuración de la ruta, por medio del vehículo de transporte que proyectó el mejor comportamiento frente a eficiencia y seguridad, satisfaciendo la demanda de la zona, y siguiendo los lineamientos establecidos en el

## CAPITULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Antecedentes

La movilidad urbana en las ciudades contemporáneas es uno de los ejes del desarrollo sostenible, definido como aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Wessel, Pardo y Bocarejo, 2012). De esta manera, el buen desempeño de la movilidad determinará en gran parte la productividad y la calidad de vida de la sociedad.

El progreso y expansión de las zonas urbanas ha venido demandando nuevas necesidades en cuanto al transporte de pasajeros dentro de las ciudades, en la actualidad existen diversos vehículos que cuentan con características de funcionalidad y beneficios que permiten seleccionarlos cuando se requiere implementar una solución; en varios países y ciudades del mundo se han inclinado por determinados modos para ayudar en la movilidad de los usuarios del transporte público, mejorando su experiencia y alcanzando una calidad alta en el servicio.

Los diversos modos de transporte han aportado en diferente medida a la movilidad de la ciudad de Bogotá, y las diferentes localidades han hecho uso de aquellos que han tenido a su alcance para realizar desplazamientos cortos (Bicitaxi), largos (buses). Revisando la zona se encuentra que la vía de la Diagonal 16 Sur (de sentido único norte- sur) a un costado del río Fucha, es de gran importancia ya que en esta zona conecta la Kr 50 con la Avenida NQS, es una de las vías más utilizadas por peatones y personas que brindan servicio de bicitaxismo. La malla vial del sector se encuentra en buen estado, aunque en pocas zonas las aceras y cruces están habilitadas para el acceso de personas con movilidad reducida. (Equipo Social Metro). Situación que da cuenta, de la necesidad de realizar un estudio que posibilite la implementación de un modo de transporte legal, seguro y eficiente, que ayude a mitigar los problemas de movilidad e interconexión con el sistema TransMilenio para la comunidad del sector de Ciudad Montes.

De acuerdo a (Cámara de Comercio de Bogotá, 2007), la localidad de Puente Aranda a la que pertenece el sector de Ciudad Montes no dispone de rutas alimentadoras que acerquen a la población de los barrios al sistema TransMilenio. Siendo importante que existan propuestas que mitiguen esta problemática, además de la voluntad de las

diferentes entidades competentes para viabilizarlas e implantarlas para el bien de la comunidad.

Según (Burrieza, 2015):

La planificación del transporte urbano colectivo cuenta con tres metas fundamentales: la reducción de los tiempos de viaje, la mejora de la seguridad y la mejora de la comodidad de los usuarios. No obstante, cada proceso de planificación debe matizar o complementar estas metas en función del contexto en el que se desarrolla el plan.

En este caso, se deben determinar las metas que debe contemplar un plan de implantación de un modo de transporte conveniente y que se pueda adaptar al sector. La acción de introducir un vehículo en el sistema de transporte para cumplir con el objetivo de conectar con TransMilenio busca seguir trabajando en pro del fortalecimiento del reparto modal de los viajes, de forma que la nueva ruta de transporte, capte viajes que anteriormente se realizaban en vehículo privado o a pie. Este trasvase de viajeros se produce gracias a las mejoras en las características de la oferta que puede permitir el vehículo seleccionado, tales como la reducción de los tiempos de viaje y la potenciación de la imagen del Sistema Integrado de Transporte Público. La utilización del vehículo seleccionado permitirá alcanzar unos objetivos importantes según los factores de análisis que se proponen, por ejemplo, la reducción de la contaminación atmosférica.

La puesta en marcha de una ruta alimentadora donde se selecciona el vehículo que mejor comportamiento tiene según los escenarios posibles planteados, no se hace bajo un planteamiento de competencia con el transporte urbano, sino que se trata de consolidar un sistema integrado de transporte colectivo que cuente con este como un soporte complementario. Por lo tanto, no solo se plantea un trasvase de viajeros desde el vehículo propuesto al sistema BRT, sino que se pretende que el escenario óptimo logre una coordinación entre el vehículo de la ruta propuesta, generando viajes hacia y desde TransMilenio mediante transbordos, en un marco de integración tarifario.

## **2.2 Marco teórico**

El estudio se desarrollará en la UPZ 40 (Ciudad Montes) en la localidad de Puente Aranda. Esta localidad recibe su nombre por el puente que atravesaba un terreno cenagoso de Don Juan Aranda sobre el Río Chinúa, hoy llamado San Francisco. Posteriormente se construyó un camellón hacia el occidente, creando un canal de comunicación con Honda, principal puerto sobre el Río Magdalena.

El Puente de Aranda existió hasta 1944, fecha en la cual se inició la construcción de la avenida de las Américas. La localidad se fortaleció en 1944 con el primer reglamento de zonificación y se consolidó a partir de los estudios de Le Cobusier, del plan Piloto de Bogotá adoptado en 1951 y de la zonificación de 1963 realizada por el Departamento

Administrativo de Planeación Distrital. Puente Aranda se convirtió entonces en el epicentro de la actividad industrial de la capital (Planeación, 2009).

Puente Aranda está localizada en la zona central de la ciudad, tiene un área de 1.731 hectáreas (ha) urbanas, de las cuales 48 hectáreas pertenecen a suelo protegido.

En la UPZ ciudad montes existen cinco colegios públicos que prestan sus servicios a un total de 10.101 niños, niñas y adolescentes, además de 37 colegios privados (Montes).

De acuerdo con los resultados de la encuesta de Movilidad de 2011, en la región de Bogotá diariamente se realizan en promedio 14.768.374 de viajes, de los cuales 12.576.590 se realizan al interior de la ciudad. Para el caso de ciudad montes, se generan 1.860 viajes, y son atraídos 2.331 cerca de un 4% del total de viajes de la ciudad, el comportamiento mencionado se puede observar en las gráficas 1 y 2.

El objetivo del trabajo es implementar un plan de acción a través del corredor del Río Fucha, del cual se tiene diferentes motivos de viajes generados y atraídos por el corredor como se indican en la figura 1 y 2.

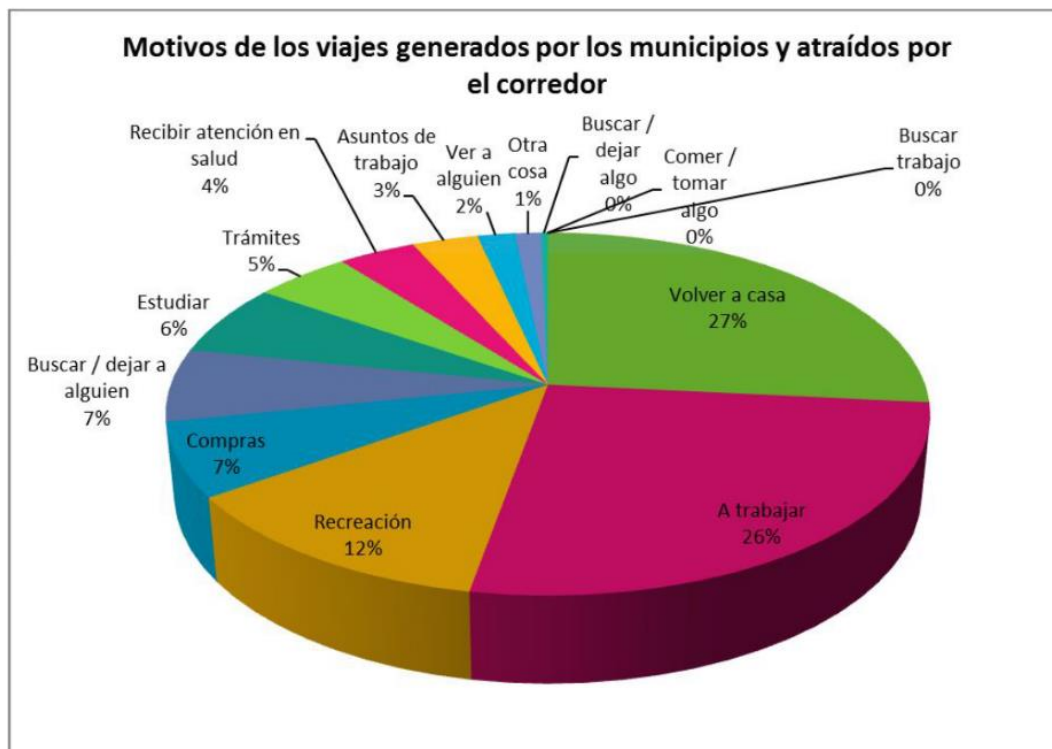


Figura 1. Motivo de los viajes generados por los municipios y atraídos por el corredor. Fuente: Puerto, 2015.

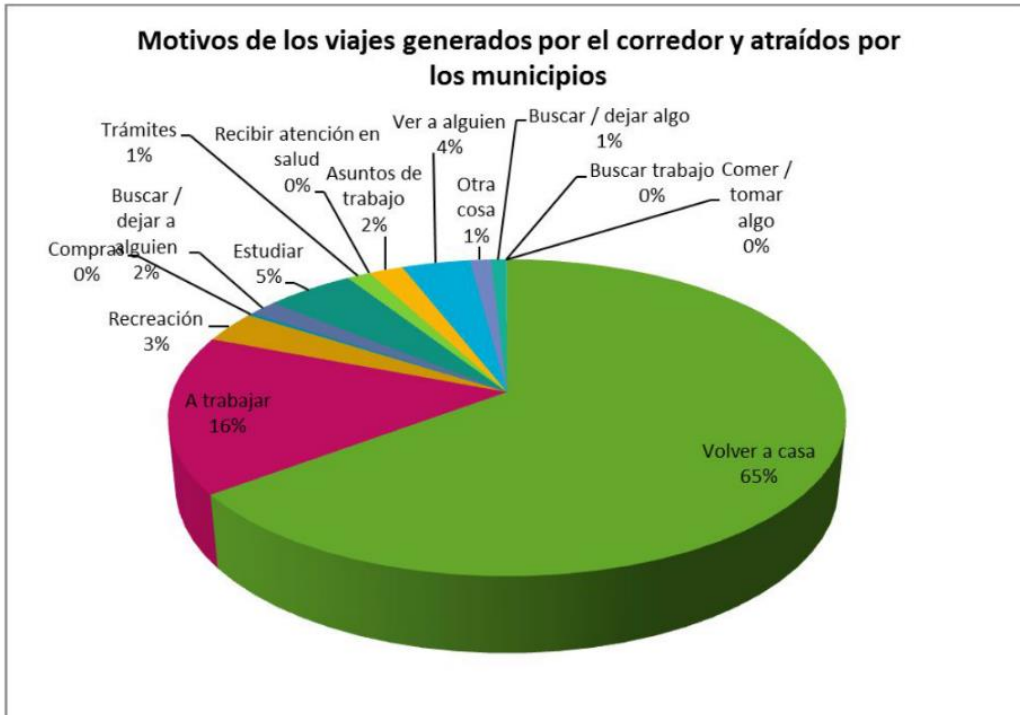


Figura 2. Motivo de los viajes generados por el corredor y atraídos por los municipios.  
Fuente: (Puerto, 2015)

Al revisar la cantidad de viajes por localidades en la tabla 1, es posible observar que las localidades que mayor dinámica presentan con este corredor son las localidades de Kennedy, Santa fe y Teusaquillo. A continuación, observamos en detalle los viajes por localidades:

Tabla 1. Viajes generados y atraídos por el corredor del Río Fucha desde y hacia las localidades de Bogotá.

Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de Movilidad 2011.

Localidad	Generados	Atraídos	Viajes totales	Porcentaje de Viajes totales
Usaquén	45.000	40.166	85.166	5,05%
Chapinero	60.190	60.153	120.343	7,13%
Santa Fe	67.410	71.123	138.533	8,21%
San Cristobal	35.283	35.224	70.507	4,18%
Usme	23.368	23.700	47.068	2,79%
Tunjuelito	39.054	39.995	79.049	4,69%
Bosa	41.026	43.695	84.721	5,02%
Kenedy	111.694	111.936	223.630	13,25%
Fintibón	56.680	56.006	112.686	6,68%
Engativá	50.197	52.074	102.271	6,06%
Suba	43.382	42.655	86.037	5,10%
Barrios Unidos	32.684	26.048	58.732	3,48%
Teusaquillo	65.443	68.927	134.370	7,96%
Los Mártires	38.804	36.404	75.208	4,46%
Puente Aranda	14.646	13.467	28.113	1,67%
La Candelaria	33.814	26.022	59.836	3,55%
Rafael Uribe Uribe	42.954	44.228	87.182	5,17%
Ciudad Bolívar	44.182	48.260	92.442	5,48%
Sumapaz	768	547	1.315	0,08%
			1.687.209	100,00%

Ahora bien, analizando cada una de las UPZ del corredor como se observa en la tabla 2, se pueden encontrar los viajes de la UPZ Ciudad Montes, la cual presenta una actividad similar a la mayoría de UPZ, siendo mayor la cantidad de viajes que genera que la cantidad de viajes de personas que deben llegar a este lugar.

Tabla 2. Viajes generados y atraídos por cada UPZ del corredor del Río Fucha desde y hacia las localidades de Bogotá.

Fuente: Elaboración propia a partir de Encuesta de Movilidad 2011.

Localidad	Generados	Atraídos	Viajes totales	Porcentaje de Viajes totales
San Blas	39.918	1.149	41.067	4,16%
Sosiego	28.488	3.074	31.562	3,20%
Veinte de Julio	43.669	4.607	48.276	4,89%
Ciudad Jardín	32.338	4.826	37.164	3,77%
San José	36.511	3.966	40.477	4,10%
Santa Isabel	28.390	2.760	31.150	3,16%
Restrepo	57.538	6.309	63.847	6,47%
Quiroga	65.139	7.963	73.102	7,41%
Ciudad Montes	39.350	5.661	45.011	4,56%
Muzu	37.666	7.898	45.564	4,62%
San Rafael	40.429	9.866	50.295	5,10%
Americas	69.574	16.049	85.623	8,68%
Carvajal	68.026	9.403	77.429	7,85%
Castilla	69.115	5.227	74.342	7,53%
Fontibón	66.549	10.751	77.300	7,83%
Zona franca	20.277	5.453	25.730	2,61%
Tintal Norte	16.919	1.265	18.184	1,84%
Puente Aranda	35.624	22.074	57.698	5,85%
Granjas de Techo	22.902	5.017	27.919	2,83%
Bavaria	28.157	6.814	34.971	3,54%
			986.711	100,00%

Estas cifras evidencian la necesidad de disponer de una alternativa eficiente de transporte que mejore la movilidad de los usuarios del sector de la propuesta de trabajo. Para la implementación de un modo de transporte que dé servicio a la gran cantidad de usuarios que mueve el sector del Río Fucha, y más concretamente el sector de Ciudad Montes, se debe llegar a decir, que la mejor opción es aquella que cumpla con las expectativas de los usuarios además de cumplir con los criterios de evaluación fundamentales: funcional, económico y ambiental, que logre dar como resultado una ruta con un vehículo eficiente y que cumpla, a través de la alternativa del escenario óptimo.

Es importante resaltar, el proceso de expansión urbana que están sufriendo la mayor parte de las ciudades, situación que hace que las distancias entre los principales servicios (vivienda, trabajo, comercio, servicios públicos) sean mayores y que, además se

incremente la dependencia del vehículo particular, ya que en estos nuevos desarrollos de la periferia la oferta de transporte público es menor que en los centros urbano. (Cascajo Jiménez, 2006)

Algunos datos que se pueden resaltar con respecto a la movilidad de las ciudades españolas, que corresponden a la encuesta de Movilidad de las personas residentes en España. (Ministerio de Fomento, 2001)

- La tasa de motorización se ha duplicado en los últimos 25 años, pasando de 280 vehículos por cada 1000 habitantes en 1980, a 589 en el año 2003.
- El número medio de desplazamiento por persona y día es de tres viajes, independientes del tamaño de la ciudad.
- El tiempo total dedicado a desplazarse por persona y día varía con el tamaño de la ciudad, siendo de 81 minutos en municipios grandes (con más de 500.000 habitantes) y 64 minutos en municipios pequeños (con menos de 10.000 habitantes).
- Más de la mitad de los desplazamientos diarios en ciudades grandes responden a movilidad obligada, es decir, son por motivo de trabajo o estudios.

Se estima que para el año 2030, la cantidad de personas que viven y trabajan en áreas urbanas en Europa aumentaran del 75% al 80%, lo cual hace necesario encontrar soluciones básicas para resolver los problemas de transporte urbano.

Para el presente trabajo se planea utilizar el vehículo que dé como resultado el análisis de los escenarios simulados, a partir de tres vehículos: bicitaxi, tranvía y bus, para complementar el sistema troncal de TransMilenio, que ingresa en la categoría de sistema BRT. Los sistemas BRT consisten en un corredor exclusivo para buses, complementado por una reorganización del esquema contractual y de la prestación del servicio, así como una adecuación de características de sistemas férreos a un sistema basado en buses (por ej. Pago de pasaje en estaciones, programación de los servicios mediante un centro de control, estaciones como componente central del sistema, entre otras características). A partir del sistema construido en Bogotá (TransMilenio), se ha visto un “boom” en América Latina y el mundo. (Pardo, 2008)

El sistema TransMilenio ha sido modelo para muchas otras ciudades, pero en muchos sectores de la ciudad le hace falta avanzar en el tema de las conexiones, facilitando así el viaje de los usuarios, porque el éxito de este modelo es una buena estructuración y la intermodalidad, que se precisa para que los pasajeros elijan como hacer sus recorridos, por medio de una red que les dé acceso a viajar de una forma eficiente, segura y cómoda. Es de resaltar que la desconexión hace que el sistema resulte poco atractivo, lo que lleva a repensar en la necesidad de articulación de los sistemas que se puedan alimentar unos a otros. Cuando se habla de integrar el transporte público, se plantean soluciones que lleva a que aumente la demanda de pasajeros, se disminuyan los tiempos de viaje, la congestión



y aumente la calidad de vida medioambiental; además se estimula a que los pasajeros tengan en cuenta al sistema a la hora de sus desplazamientos, fomenten su uso al facilitar sus viajes, disminuyendo el uso del vehículo privado (Cordero, 2012)

## CAPITULO III

### 3. DEMANDAS Y MODELACIÓN

#### 3.1 Toma de demandas del bicitaxi actual

Para realizar la modelación de la situación actual del tramo de influencia para el área, es necesario conocer a través de aforos: la cantidad de usuarios del sistema y cuántos de ellos viajan en el servicio de bici taxi, especificando los orígenes y destinos de los viajes para tener claro el flujo de estos en las horas de máxima demanda, que es donde se aplica la microsimulación con el objetivo de analizar el comportamiento al momento de integrar una solución con esas demandas.

Para obtener las demandas de bici taxis se elaboraron unos formatos que permitieron identificar los viajes de origen y destino de los usuarios, que hacen uso de este medio de transporte.

La empresa de bicitaxis asociada a este sector vial llamada **Bogotana de Tricimóviles**, tiene como centro de trabajo y fuente principal de usuarios la estación de TransMilenio Sena. Allí se hizo una toma de tiempos inicial, el día 13 de marzo del 2017 de 5:45 am hasta las 10:00 pm, con la cual se conoció el comportamiento de los usuarios y los períodos de máxima demanda.

Se tomaron datos de cada uno de los viajes de los bicitaxis, información que se organizó en periodos de quince minutos. La UPZ Ciudad Montes tiene un comportamiento diferente en horas de la mañana y en horas de la noche, ya que en la mañana las rutas de los bicitaxis tienen varios orígenes, pero un destino común. Para las horas de la noche la situación corresponde a viajes con múltiples destinos, pero con un origen común la estación de TransMilenio SENA.

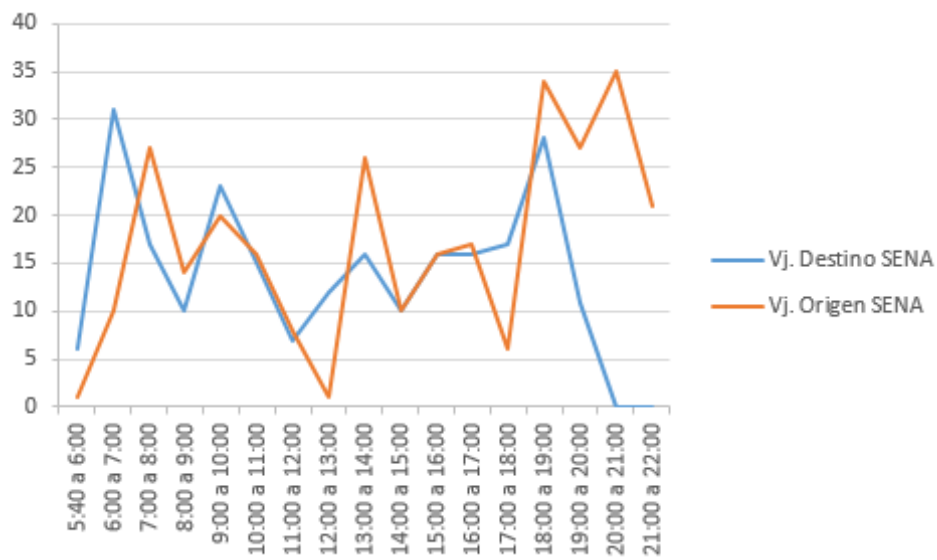


Figura 3. Viajes origen – destino Bicitaxis UPZ Ciudad Montes.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 3 se observa el comportamiento anteriormente descrito, teniendo la mayor cantidad de viajes con destino Estación SENA entre 6 y 7 a.m., mientras que la mayor cantidad de viajes con origen de la Estación SENA se generan entre las 6 y las 9 p.m. Al realizar la suma de los viajes origen y destino, obtenemos como hora pico de viajes en el medio de transporte bici taxi, entre las 6 y 7 p.m. como se visualiza en la figura 4.

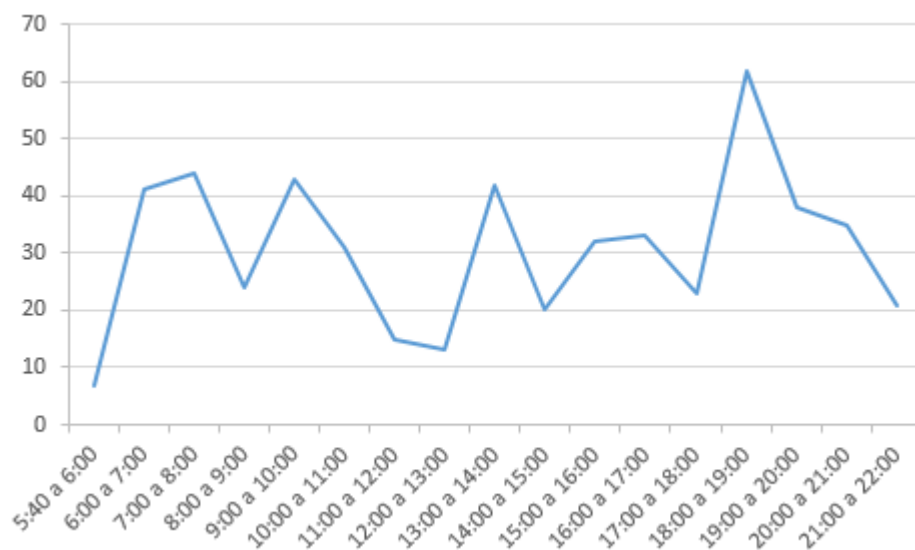


Figura 4. Suma viajes origen - destino en Bicitaxi en UPZ Ciudad Montes.  
Fuente: Elaboración propia

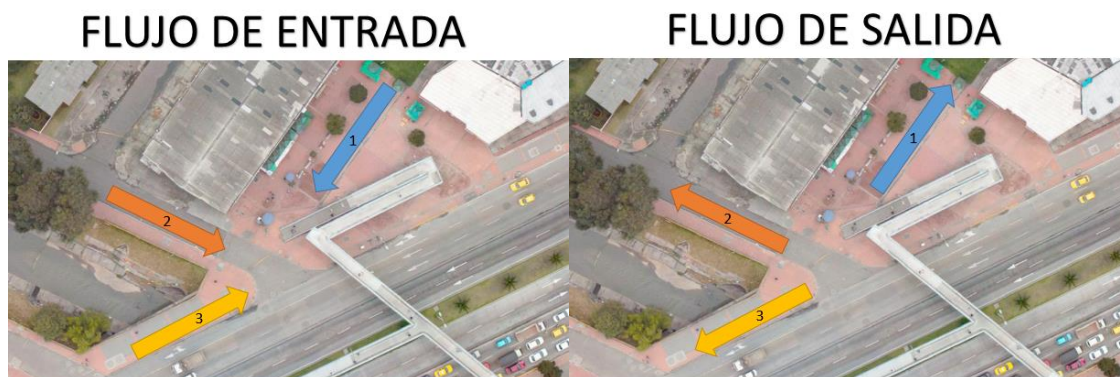
Se tienen en cuenta los datos analizados del primer aforo de viajes y demandas, y se realizan dos tomas adicionales los días 5 y 6 de abril de 2017, en los horarios de las 6:00 a 9:00 a.m., y entre las 5:30 y las 9:00 p.m., para establecer con base en tres muestras de días de actividad normal en el área una información coherente, con el fin de poder verificar los datos, y obtener unas cifras intermedias representativas que permitan una aproximación a la realidad en la interacción en cuanto a cantidad de usuarios del transporte público en este punto. Según el resultado y análisis, a partir de los datos de las muestras, se aprecia en la tabla 3 de volumen de bicitaxis según origen, destino y total viajes en UPZ Ciudad Montes, que el periodo de máxima demanda va entre las 18:15 y 19:15.

*Tabla 3. Volumen Bicitaxis origen, destino y total viajes en UPZ Ciudad Montes.  
Fuente: Elaboración propia*

ORIGEN			DESTINO			TOTAL VIAJES		
Volumen (Bicitaxis/hora)			Volumen (Bicitaxis/hora)			Volumen (Bicitaxis/hora)		
5:45 a 6:45		19	5:45 a 6:45		56	5:45 a 6:45		74
6:00 a 7:00		21	6:00 a 7:00		60	6:00 a 7:00		81
6:15 a 7:15		26	6:15 a 7:15		58	6:15 a 7:15		84
6:30 a 7:30		31	6:30 a 7:30		62	6:30 a 7:30		93
6:45 a 7:45		30	6:45 a 7:45		61	6:45 a 7:45		92
7:00 a 8:00		28	7:00 a 8:00		57	7:00 a 8:00		85
7:15 a 8:15		28	7:15 a 8:15		57	7:15 a 8:15		85
7:30 a 8:30		25	7:30 a 8:30		52	7:30 a 8:30		77
7:45 a 8:45		23	7:45 a 8:45		43	7:45 a 8:45		65
8:00 a 9:00		21	8:00 a 9:00		37	8:00 a 9:00		58
16:45 a 17:45		36	16:45 a 17:45		22	16:45 a 17:45		58
17:00 a 18:00		45	17:00 a 18:00		17	17:00 a 18:00		62
17:15 a 18:15		59	17:15 a 18:15		14	17:15 a 18:15		73
17:30 a 18:30		73	17:30 a 18:30		12	17:30 a 18:30		85
17:45 a 18:45		93	17:45 a 18:45		19	17:45 a 18:45		112
18:00 a 19:00		108	18:00 a 19:00		21	18:00 a 19:00		129
18:15 a 19:15		109	18:15 a 19:15		21	18:15 a 19:15		130
18:30 a 19:30		106	18:30 a 19:30		20	18:30 a 19:30		126
18:45 a 19:45		110	18:45 a 19:45		18	18:45 a 19:45		128
19:00 a 20:00		96	19:00 a 20:00		10	19:00 a 20:00		106
19:15 a 20:15		79	19:15 a 20:15		6	19:15 a 20:15		85
19:30 a 20:30		76	19:30 a 20:30		5	19:30 a 20:30		81
19:45 a 20:45		65	19:45 a 20:45		10	19:45 a 20:45		75
20:00 a 21:00		51	20:00 a 21:00		14	20:00 a 21:00		65

### 3.2 Toma de demandas de pasajeros de Estación SENA de TransMilenio

Para la toma de demandas de la estación SENA, se realizó el mismo proceso que con los Bicitaxis, analizando y tomando datos acerca del número de personas que ingresan a la estación de TransMilenio SENA por el ascenso oriental del puente peatonal. La toma de datos se realizó el 13 de marzo y posteriormente el 5 y 6 de abril de 2017 como se señala gráficamente en la figura 5, de donde se obtienen tres muestras, verificando y evaluando la dirección de los usuarios del sistema TransMilenio al ingresar y al abandonar el puente de alimentación de la estación.



*Figura 5. Flujo de entrada y flujo de salida del puente peatonal estación SENA.  
Fuente: Elaboración propia*

El objetivo de la toma de demandas, también es el de identificar el periodo de máxima demanda de la estación de TransMilenio, debido a que tan sólo el **11,85%** de la muestra de usuarios tomada utiliza bicitaxi, y el porcentaje restante utiliza medios como vehículo particular, taxi, bus o se desplazan caminando.

Tabla 4. Volumen peatones flujo de entrada y flujo de salida puente peatonal estación SENA.  
Fuente: Elaboración propia.

Volumen (peatones/hora)				Flujo de Entrada			Flujo de Salida		
	Entrada	Salida	SUMA	1	2	3	1	2	3
6:00 a 7:00	792	377	1.168	361	225	206	154	128	95
6:15 a 7:15	756	422	1.178	345	216	196	173	144	106
6:30 a 7:30	723	456	1.179	330	206	188	187	155	114
6:45 a 7:45	709	480	1.189	324	202	184	196	163	120
7:00 a 8:00	661	478	1.139	302	188	172	196	163	120
7:15 a 8:15	621	459	1.080	284	177	162	188	156	115
7:30 a 8:30	573	445	1.018	262	162	150	182	151	112
7:45 a 8:45	530	387	918	244	147	139	159	131	98
8:00 a 9:00	471	350	821	218	128	125	145	118	88
18:00 a 19:00	416	911	1.327	189	118	108	373	310	228
18:15 a 19:15	379	877	1.256	172	108	99	360	298	219
18:30 a 19:30	345	853	1.198	157	98	90	350	290	213
18:45 a 19:45	306	817	1.123	139	86	80	334	279	205
19:00 a 20:00	287	751	1.038	131	81	75	307	256	188
19:15 a 20:15	257	692	949	118	72	68	282	236	174
19:30 a 20:30	229	611	840	105	65	60	249	209	154
19:45 a 20:45	211	543	755	98	59	55	223	185	137
20:00 a 21:00	184	448	632	86	51	48	185	150	112

En la tabla 4 se muestra los volúmenes de peatones, así como el periodo de máxima demanda. A partir de las tres muestras se obtuvieron los datos representativos para los periodos dados cada 15 minutos, y se saca el periodo de máxima demanda que se encuentra entre las 18:00 y 19:00 de la noche, este resultado es diferente por quince minutos al obtenido en el estudio de bicitaxi, pero debido a que el volumen de ingresos a la estación SENA es mucho más representativo en comparación con el de los bicitaxis, determinando este dato como el periodo de máxima demanda a tener en cuenta para el trabajo de simulación y análisis para el software Vissim.

### 3.3 Software PTV Vissim y objetivo de la modelación

Teniendo en cuenta el problema objeto de estudio se busca representar la situación actual frente al tránsito y el transporte en el área de influencia de la Diagonal 16 Sur, localizada en Ciudad Montes que se encuentra por el norte la transversal 53 y por el sur la Avenida Quito, siendo una zona amplia donde hay un elevado número de usuarios del Sistema de transporte que no encuentran un modo eficiente, cómodo y accesible para llegar a la Estación Sena y regresar a sus hogares.

Planteado el problema se analizan los escenarios acorde con los datos reales de la situación del tráfico y de la cotidianidad de los pasajeros, buscando encontrar los resultados más favorables, haciendo comparaciones entre varios medios que pueden servir como parte del sistema complementario, de acuerdo a lo expuesto, el software PTV Vissim en su

versión 8, ayuda a simular las condiciones del tráfico permitiendo analizar medidas que se puedan considerar como parte de soluciones que se den en la interacción del transporte público, el potencial de esta herramienta genera bases importantes para la evaluación donde se obtienen resultados numéricos precisos, así como animaciones en 3D, que permiten tener una visión de lo que ocurre y puede ocurrir, al añadir elementos como parte de las alternativas que ayudan a mejorar la problemática existente.

Para abordar la situación de la Diagonal 16 Sur y su área de influencia se integraron al programa los datos dados a conocer anteriormente de los aforos de peatones que entran y salen de la Estación Sena, así como la cantidad de ellos que toman el bicitaxi en los viajes de origen y destino hacia la misma; además de la información de los planes semafóricos obtenida de la Secretaria de Movilidad donde se encuentran datos del tráfico que se mueve en la zona, con el fin de observar la realidad del entorno y su interacción en un modelo microscópico calibrado y que cuenta con los parámetros reales de comportamiento adaptándolo a las circunstancias estudiadas.

El resultado se logra al correr la simulación de la realidad, y cada escenario por separado, donde se plantea: un bicitaxi que sea como el actual pero con rutas definidas o un carril segregado y un paradero establecido, además se propone una segunda opción para este mismo escenario, que es disponer de un bicitaxi con motor que transite por la vía con los demás vehículos que componen el tráfico; en un segundo escenario se considera una buseta que comparta la vialidad con los demás vehículos, y finalmente se plantea un tranvía que tendrá su vía por el borde del canal del Río Fucha a un costado de la Diagonal 16 Sur, en todos estos escenarios posibles se verifican las variables: velocidad, tiempo de recorrido, demoras, libertad de maniobra, comodidad y emisiones de gases (contaminación); todas estas permiten seleccionar aquel medio que brinde mayores ventajas al tener mejor comportamiento, estos son aspectos que resultan determinantes al realizar la elección del modo, ya que estas variables resumen el valor que perciben los usuarios de un sistema de transporte, manifestándose en su utilización y dando a este la aceptación al sentir un mayor grado de satisfacción al llenar sus expectativas. (Arbesú, 2003).

El programa PTV Vissim permite integrar otros vehículos a su biblioteca, para este trabajo se configuro para realizar la simulación un medio de transporte llamado Bicitaxi y se incorporó a la base de datos con el fin de establecer este recurso que es el utilizado actualmente en el sector, la finalidad es usar un recurso de modelación que permita generar comparaciones entre medios convencionales (bus y tranvía), y uno que se ha venido introduciendo (bicitaxi) en los entornos de diversas ciudades del mundo, en donde unas pocas han logrado introducirlo como parte integral del sistema de transporte fortaleciendo la intermodalidad y otras aun los mantienen excluidos aunque hacen parte importante de la interconexión con el principal sistema de transporte y los hogares de los usuarios.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La posibilidad de solución para permitir un acceso más rápido, eficiente y que se encuentre conectado con el transporte urbano se da tras el análisis de varios medios que evidencian y cumplen el objetivo establecido, luego de comprender cómo y qué metodología utilizan los habitantes del sector para desplazarse, cuál es la estructura del área, cómo está distribuido el espacio y las actividades, así como la influencia y la dinámica de la movilidad de los usuarios y del modo del transporte (Alcántara, 2010)

La idea principal se enmarca en encontrar una solución óptima desde un enfoque económico, social y ambiental, que redunde en la transformación e impacte de forma positiva el área de estudio, este problema es común en casi toda la ciudad, por ello buscar la integración es un llamado al fortalecimiento de la red del transporte urbano público, empezando a generar cambios que consoliden la visión de promover la movilidad a través de este medio como eje de desarrollo sostenible para la ciudad.

Es así como el progreso de las personas y empresas se empieza a evidenciar con la productividad, menor segregación social, mejora en el medio ambiente y la calidad de vida (Secretaría Distrital de Planeación, 2013). Es importante que la ciudad implemente planes de acción con pequeños y medianos proyectos que tiendan a la integración del transporte urbano principal, estimulando que los ciudadanos usen mucho más este medio, y así disminuya el transporte privado motorizado, la congestión vehicular y mejore la calidad del aire que se ha visto reducida y afectada en los últimos tiempos.

Al evaluar esta problemática que se da en diversas áreas de Bogotá, para este caso específico en la UPZ Ciudad Montes, se resalta que la prioridad es encontrar e implementar soluciones favorables para todos, esto se logra a través de una voluntad de los gobiernos locales y una política integral de la ciudad donde pongan al transporte público como un motor de desarrollo, y la integración y articulación de este con las diferentes zonas de la ciudad como el camino para lograr este propósito (Pardo, 2008).

Para comenzar el análisis de la viabilidad de los medios de transporte se realiza a través de la simulación en el software PTV Vissim la modelación del corredor vial de la Diagonal 16 Sur entre la Transversal 53 y la Avenida Quito, para obtener microsimulaciones de diferentes escenarios que permitan analizar qué alternativa de medio de transporte es la adecuada y óptima para alimentar el Sistema de Transporte Masivo TransMilenio, a partir de la evaluación de diferentes características fundamentales del flujo vehicular.

#### 4.1 Escenario Base

A partir, del escenario base se modeló el comportamiento actual del transporte en el sector de estudio con información obtenida de la secretaria de movilidad y con aforos elaborados para este estudio, para una aproximación más cercana a la realidad de la zona se tuvo en cuenta el comportamiento de los bicitaxis con la demanda actual, donde el resultado arroja para la hora pico un total de 108 usuarios, cifra que se debe analizar y comparar con el número de personas que salen de la estación de TransMilenio SENA que son 911, de las cuales la demanda potencial de los usuarios que requieren y podrían beneficiarse de un modo complementario de transporte son en promedio 682 pasajeros, como se indica en la tabla 5. Debido a que el objetivo del estudio es vincular un medio de transporte con el sistema de transporte público actual se contempla la demanda potencial para la evaluación y análisis de los demás escenarios.

*Tabla 5. Comportamiento usuarios Estación Sena que salen a UPZ Ciudad Montes.  
Fuente: Elaboración propia a partir de aforo.*

Transporte Usuarios Transmilenio	
Medio de transporte	Usuarios (hora pico)
Bicitaxi	108
V. Particular	26
Taxi	74
SITP 8va	202
Caminando (>400m)	272
Caminando (<400m)	229
<b>Total</b>	<b>911</b>
<b>Demanda potencial</b>	<b>682</b>

Al iniciar la simulación del corredor, se tienen en cuenta dos escenarios que proponen mantener el uso del bicitaxi como medio de transporte complementario con el objetivo de aumentar la velocidad del tramo; en el primer escenario se implanta el bicitaxi con motor (en el cual velocidad se aumenta el doble de lo normal para simular el comportamiento); y el segundo establece el bicitaxi con corredor exclusivo, donde se usan las ciclo rutas existentes, con algunas modificaciones de menor envergadura inherentes a la malla vial.

Se plantea otro escenario donde se propone otro medio de transporte tomando en cuenta estudios realizados en la ciudad de Bogotá, en los cuales se ha evaluado la viabilidad de la implementación de un tranvía para conectar diferentes sectores, de acuerdo con esta idea se realiza la modelación y estudio de un tranvía que remplace la función actual del bicitaxi y aumente la velocidad del desplazamiento a lo largo del corredor del proyecto.

Finalmente se analizan otros escenarios a partir de la propuesta que maneja TransMilenio para portales y estaciones de gran demanda, estableciendo unas alternativas donde la



demanda se atiende con buses alimentadores, evaluando varios tipos de vehículo con diferentes capacidades que permitan alimentar la estación del sistema de transporte, para esto se establecen varios escenarios así: vehículos tipo vans de 6 puestos, vehículo tipo vans de 16 puestos, un colectivo con capacidad de 55 usuarios y un bus alimentador con capacidad de 80 usuarios.

Para la modelación fue necesario analizar las diferentes rutas para la circulación de bicitaxis, la longitud para el corredor del tranvía y la ruta del bus alimentador que dieran cobertura en mayor medida a los puntos de origen y destino del sector objeto de estudio. Con la velocidad de cada uno de los vehículos de transporte y las distancias promedio en la modelación, se obtuvo el tiempo de recorrido y el tiempo estimado de paradas, para estos resultados se tuvo en cuenta la demanda potencial y la capacidad de los vehículos con el fin de obtener, la cantidad de viajes por vehículo y la cantidad de vehículos requeridos para suplir la demanda potencial. El análisis anteriormente mencionado se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 6. Cantidad de vehículos por cada medio de transporte para demanda potencial.  
Fuente: Elaboración propia a partir de aforo.*

Cantidad de vehículos requeridos por medio de transporte para demanda potencial									
Medio de transporte	Demanda	Velocidad de marcha (km/h)	Distancia (km)	Tiempo recorrido (min)	Tiempo de paradas (min)	Viajes/ vehículo	Capacidad / vehículo	Personas por hora	Cantidad de vehículos
Bicitaxi	108	12	2.344	11.72	0	6	2	12	15
	682	12	2.344	11.72	0	6	2	12	57
Bicitaxi con motor	682	25	2.344	5.63	0	11	2	22	31
Bicitaxi Corredor Exclusivo	682	12	2.03	10.15	0	6	2	12	57
Tranvía	682	25	4.24	10.18	6	4	486	1944	1
Van 6 puestos	682	25	6.655	15.97	7	3	6	18	38
Van 16 puestos	682	25	6.655	15.97	7	3	16	48	15
Colectivo	682	25	6.655	15.97	7	3	55	165	5
Bus	682	25	6.655	15.97	7	3	80	240	3

Para analizar los diferentes escenarios se tienen en cuenta tres aspectos fundamentales: funcional, económico y ambiental que según lo argumenta el CONPES 3167 es lo que incentiva a las diferentes ciudades a implantar sistemas de transporte que permiten atender las necesidades de movilidad de una población. Para la comparación de escenarios, se elabora una matriz de ponderación y comparación de escenarios, similar a la matriz de perfil competitivo utilizada en mercadeo, pero con una aplicación diferente. Para ejecutar esta matriz se deben definir diferentes aspectos a evaluar, y en cada uno se establece una ponderación según su grado de importancia en la elección del medio de transporte; este proceso se aplica tanto al escenario base como a los demás escenarios, basados en la funcionalidad de transporte, considerando una variable enfocada al usuario, al aspecto ambiental y al aspecto económico.

**Factores Económicos:** En este ítem se tienen en cuenta los costos asociados a cada escenario, en dos momentos. Uno corresponde a la Inversión inicial, y considerando los

costos de infraestructura asociados, así como el costo de los vehículos, cuya cantidad está definida por la demanda potencial. El otro momento corresponde al Costo de operación, en el cual se tienen en cuenta los salarios (Mano de obra), según la cantidad de vehículos, así como el costo de mantenimiento de la flota de vehículos requerida por cada escenario.

En la elección de alternativas, para el distrito el ítem preponderante es el económico, ya que este determina los recursos públicos para construcción y puesta en marcha de diferentes proyectos. Para efectos de evaluación los factores tienen una **importancia del 40%**, correspondiente al **22% la inversión inicial**, y al **18% el costo de operación**, guardando la proporción de cada aspecto, y proyectando los costos de operación a 20 años, debido a que esta es la vida útil de los vehículos de transporte de servicio público.

**Factores Ambientales:** En este ítem se tienen en cuenta dos aspectos, el primero correspondiente a las emisiones, el cual engloba emisiones de Óxidos nitrosos (NOx), Óxidos de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (VOC), como el Hidrogeno, Oxígeno, Flúor, Cloro, Bromo, Azufre o Nitrógeno. Estas emisiones son medidas para el corredor en estudio, mediante el programa VISSIM, para los diferentes escenarios. Es uno de los elementos más preponderantes hoy en la planeación de las ciudades y sus diversas actividades, ya que los gobiernos y las diferentes instituciones se preocupan no solo por la movilidad sino por el aumento del transporte motorizado que contribuye cada vez más a elevar las emisiones atmosféricas y otros efectos negativos adversos para el medio ambiente; de allí nace el repensar el transporte como un componente que aporte a una movilidad sostenible y que puede ir de la mano con la mejora en la movilidad y calidad de vida de los usuarios. (Connolly, 2017)

El segundo factor en estudio es el consumo de combustible, medido para el corredor, y no solo para cada medio de transporte, ya que por ejemplo, el bici taxi no tiene consumo de combustible, pero al moverse a menor velocidad, hace que los vehículos se desplacen más lento, permanezcan más tiempo en el corredor, y presenten un mayor consumo de combustible. Según la AIE estima que el consumo de combustible al igual que las emisiones de GEI se doblará en el periodo de 2000 a 2050 por el uso indiscriminado de vehículos motorizados y la falta de políticas públicas que apliquen medidas que disminuyen estos impactos. (BID, 2013), La apuesta está en seleccionar vehículos que propendan por un sistema de transporte más sostenible y que contribuyan eficazmente a una movilidad racional.

El factor ambiental ha tomado una importancia mayor, debido a los problemas medio ambientales, polución, calentamiento global, que de no tenerse en cuenta traerá consecuencias mayores. Esto conlleva a que cada proyecto, y con mayor importancia los relacionados con transporte consideren el factor ambiental en su estudio de factibilidad. Para el proyecto se considera **un peso de 27%** para este aspecto, siendo **12% para el consumo de combustible**, y **15% para las Emisiones**. Como indica en el artículo de Gestión ambiental del transporte urbano bajo criterios de desarrollo sostenible, Moller 2005, los motores de combustión de los vehículos de transporte y particulares son causantes de emitir a la atmósfera los gases que son causantes del 80% de los niveles

de contaminación en las ciudades; según una estimación detallada por modos de movilidad señala que comparando un automóvil y estableciendo para este un factor de 1: una moto contamina la mitad, buses y busetas de transporte público colectivo contaminan en promedio tres veces más que este vehículo.

**Factores funcionales (tráfico y transporte):** El estudio de variables de tráfico para este estudio tiene una gran importancia, ya que se evalúa el impacto actual del bici taxi sobre la movilidad del corredor, así como el de algunas mejoras, o diferentes medios de transporte. Los datos obtenidos de VISSIM en este aspecto corresponden a Densidad, Demoras, Velocidad y Volumen, y una variable de tránsito, enfocada a los usuarios que es el Tiempo de Viaje. Estas se deben considerar como importantes a la hora de seleccionar un medio capaz de movilizar a los pasajeros de un sector, ya que por las externalidades negativas del transporte público en las ciudades, se perjudica a los usuarios con mayores tiempos de viaje, demoras por congestión vehicular, y consiguiente reducción de la velocidad, el objetivo es encontrar una opción a través del resultado favorable de estas variables que causan un impacto positivo, pues al considerar que un medio mejora los resultados de estos aspectos ayuda a captar la demanda de otros medios de transporte, ya que el usuario las tiene en cuenta al momento de seleccionar su modo de viaje. (Orozco & Arenas, 2013)

Para las **Variables de tráfico y transporte**, se hace un estudio común, y una ponderación conjunta para todas las variables, y se le otorga un **peso de 20%** total. Para **Tiempos de viaje** se le otorga un peso de **13%** con lo cual se completan los factores a evaluar, y se inicia el estudio de cada uno de los escenarios.

*Tabla 7. Valor de factores de ponderación total para elección del medio de transporte.  
Fuente: Elaboración propia.*

Factores	Ponderación
<b>Inversion inicial</b>	22%
<b>Costo de operación</b>	18%
<b>Emisiones</b>	15%
<b>Consumo de Combustible</b>	12%
<b>Variables de Trafico y transporte</b>	20%
<b>Tiempos de Viaje</b>	13%
<b>TOTAL</b>	100%

De acuerdo a los valores establecidos, a partir de los factores tenidos en cuenta en la tabla 7, se resumen con sus respectivos porcentajes para la evaluación por escenario que permita establecer el resultado requerido.

## 4.2 Evaluación de resultados de escenarios por aspectos

### 4.2.1 Aspecto funcional

El software VISSIM nos brinda una aproximación detallada a través de la modelación del estado actual del corredor, así como de las alternativas y sus diferencias entre los distintos medios de transporte. Para cada uno de los escenarios se evaluaron cuatro aspectos principales:

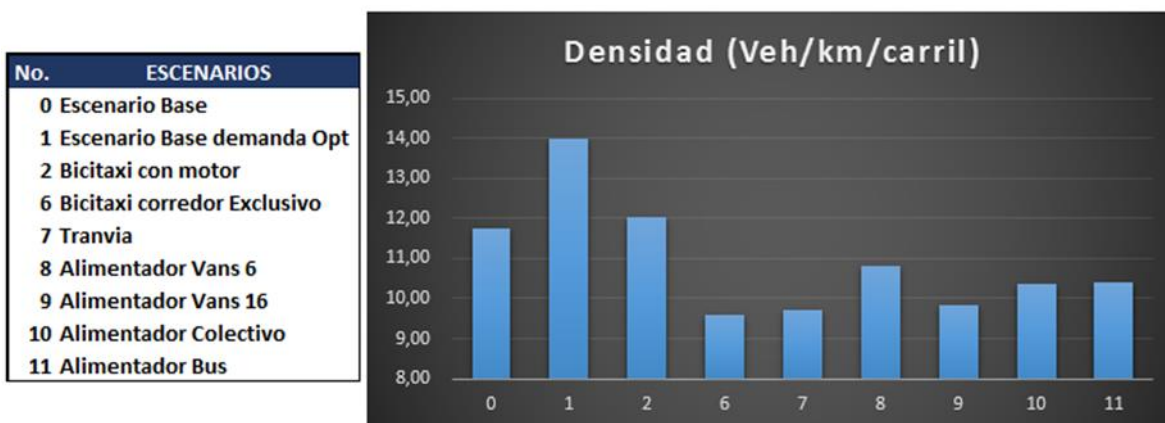


Figura 6. Densidad por escenario modelado.  
Fuente: Elaboración propia.

La densidad nos muestra la cantidad de vehículos por kilómetro/hora para el corredor de estudio como lo indica la figura 6. El escenario 1: Base (el del uso de bici taxi actual) con cobertura de la demanda potencial, es el que mayor densidad presenta, debido a que el bicitaxi sin motor, transita a una velocidad baja, y dada la menor cobertura de la demanda, sería necesario disponer de un mayor número de vehículos, afectando directamente la densidad del corredor. El mismo fenómeno se presenta en la implementación del bicitaxi con motor, a pesar del aumento de velocidad del vehículo, se requiere una cantidad considerable de estos en comparación a los demás medios de transporte que desplazan a un mayor número de usuarios por viaje.

Para el bicitaxi con corredor exclusivo, se tiene un resultado particular, la densidad es la menor, a pesar de que se necesitan un elevado número de vehículos, el impacto sobre el corredor es mínimo, pero, en este escenario se debe considerar que, al hacer un corredor exclusivo, se pierde la versatilidad del bicitaxi, por lo cual también se pierde una de sus principales ventajas.

Como se mencionó anteriormente, tanto el tranvía, como los diferentes vehículos alimentadores transportan un mayor número de usuarios por viaje, requiriendo menos vehículos, y disminuyendo la cantidad de estos por kilómetro de carril.

En un estudio elaborado de proyección de un modelo basado en la dinámica de sistemas para el sistema de transporte público colectivo de Bogotá, en el que se simularon varios escenarios, se hace mención de la variable de densidad vehicular considerando que si esta se mantiene en unos niveles adecuados permitiendo unas condiciones de confort y seguridad no solo logra llevar a un nivel de eficiencia el tránsito, sino que implica y lleva a que los usuarios hagan un uso adecuado y racional de la flota disponible (Duarte, 2011).

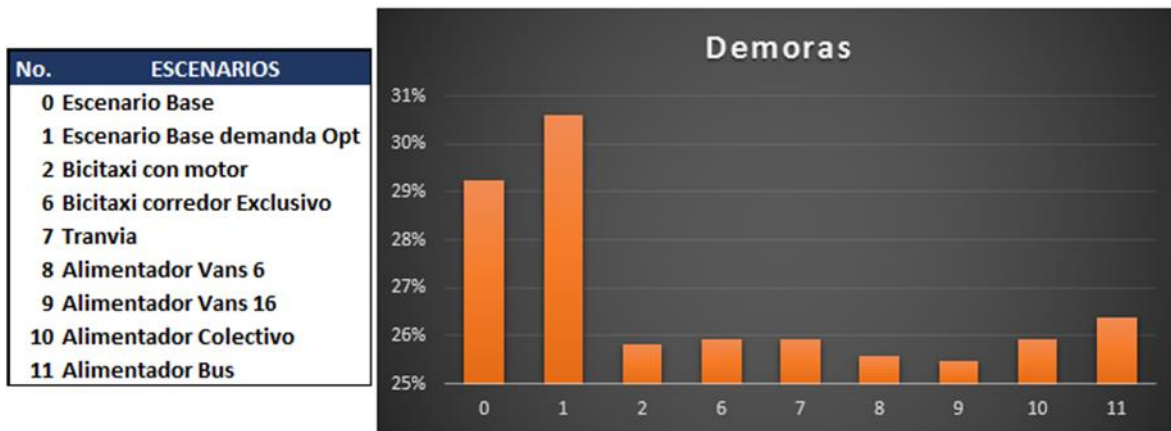


Figura 7. Demoras por escenario modelado.  
Fuente: Elaboración propia.

Las demoras obtenidas en valor porcentual, muestran escenarios favorables y similares para cada medio de transporte, e indican como señala la figura 7 una diferencia notoria con el estado actual de la vía. El bicitaxi se desplaza a una velocidad de 12 km/h, lo que ocasiona demoras en el corredor, esta constituye la razón del presente estudio que busca encontrar la mejor aplicación de los diferentes medios de transporte. Al utilizar bicitaxi con motor, la velocidad del vehículo aumenta a 25 km/h, disminuyendo las demoras en el corredor. Este mismo efecto se logra aplicando un corredor exclusivo al sistema de bicitaxis, y en la implementación del tranvía y diferentes alimentadores.

Uno de los objetivos de los estudios de tránsito y transporte supone encontrar unas condiciones de operación donde las demoras inducidas a los usuarios sean mínimas, ya que, en los periodos de máxima demanda, el movimiento de los vehículos se torna deficiente, reduciendo la velocidad, haciendo que el sistema se sature, y llegue a funcionar a niveles de congestión, esto conlleva a demoras y colas (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

La velocidad normal de tránsito para calles secundarias en la que se puede enmarcar la Diagonal 16 Sur que es el tramo de estudio, para operar en condiciones normales debe tener una velocidad de recorrido de 32 km/h, conservar unos valores cercanos a esta cifra permite tener un sistema fluido, así mismo la selección de un modo que mantenga los niveles óptimos de la densidad vehicular también lleva a que se afecte de manera positiva este comportamiento, que conduce a que este fenómeno no afecte en tiempos donde la

demanda pueda llegar a ser alta o cuando la capacidad del sistema varíe con el tiempo (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

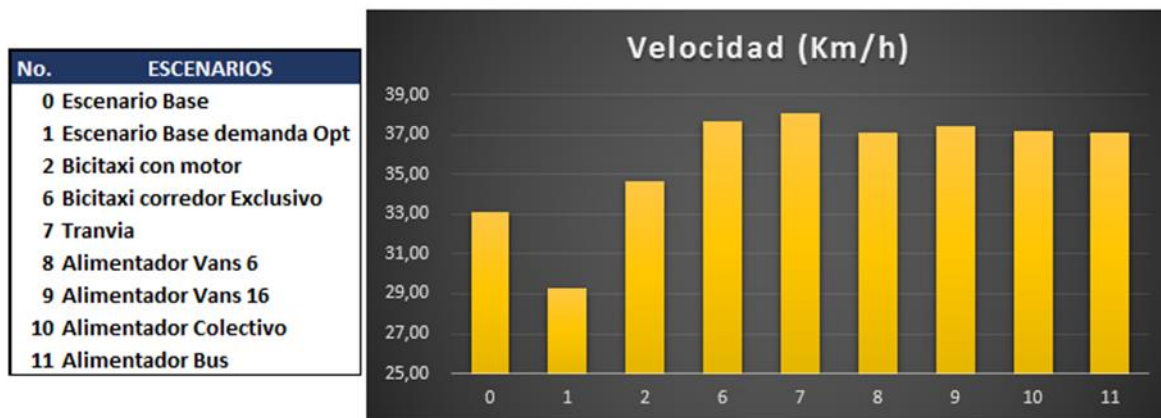


Figura 8. Velocidad por escenario modelado.  
Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene la velocidad para el corredor, y no para cada medio de transporte individual, se muestra en la figura 8, que el bicitaxi, a pesar de implementarse con motor, afecta directamente el tránsito del corredor disminuyendo la velocidad, solo se logra mitigar el impacto en los demás escenarios, donde se observa que la velocidad del corredor es muy similar.

La velocidad se considera una variable de impacto, ya que este es el principal indicador usado para medir la calidad de operación en un sistema, y en la selección de rutas para ir de un origen a un destino, la pretensión es buscar minimizar las demoras, a través de una buena velocidad que busque un equilibrio entre la vía, vehículo y el usuario, de tal manera que se garantice el equilibrio del tramo. (Cal, Reyes & Cárdenas, 2007).

Lograr una velocidad promedio de recorrido en una ruta, permite llevar a reducir la elevada congestión de la que padece la ciudad de Bogotá, se estima que la velocidad media en el sistema de transporte es 10 km/h, con las simulaciones se busca encontrar una velocidad superior en el modo a seleccionar, lo que puede llegar a permitir la reducción en los tiempos de viaje, siendo de esta manera favorable y atractivo para los usuarios. (Rojas, Cuadrado & Fernández, 2005)

Es importante para el prestador del servicio conseguir velocidades comerciales altas en sus rutas, ya que esta variable puede llegar a afectar el tamaño de su parque vehicular y por ende los costos laborales, de combustible, energéticos y mantenimiento, y como se había mencionado la atracción de pasajeros al sistema.

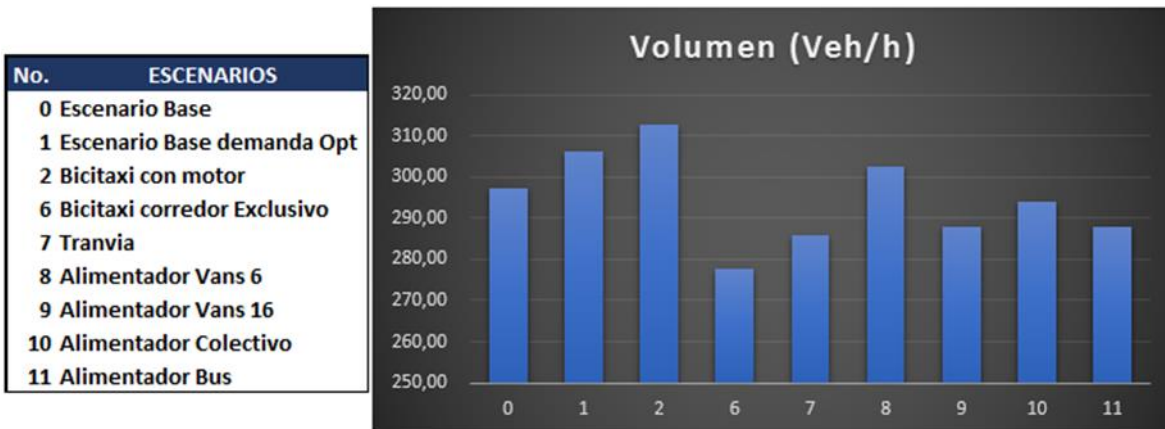


Figura 9. Volumen por escenario modelado.  
Fuente: Elaboración propia.

El volumen se entiende como cantidad de vehículos por hora, en este escenario se analiza la alternativa de bicitaxis (exceptuando el de corredor exclusivo) que se muestran desfavorables, según se indica en la figura 9, lo que resulta normal al ser vehículos que tienen menor velocidad que los demás, lo que lleva a requerir una mayor cantidad de estos, siendo este el motivo por el cual los vehículos por hora son mayores que en los demás escenarios; analizando el vehículo de mayor volumen es el del escenario del bici taxi con motor, pero al revisar el gráfico de demoras, no encontramos una diferencia mayor con los demás escenarios, podemos concluir que la vía tiene capacidad para transportar la cantidad de 319 veh/h, sin presentar un impacto mayor en las demoras.

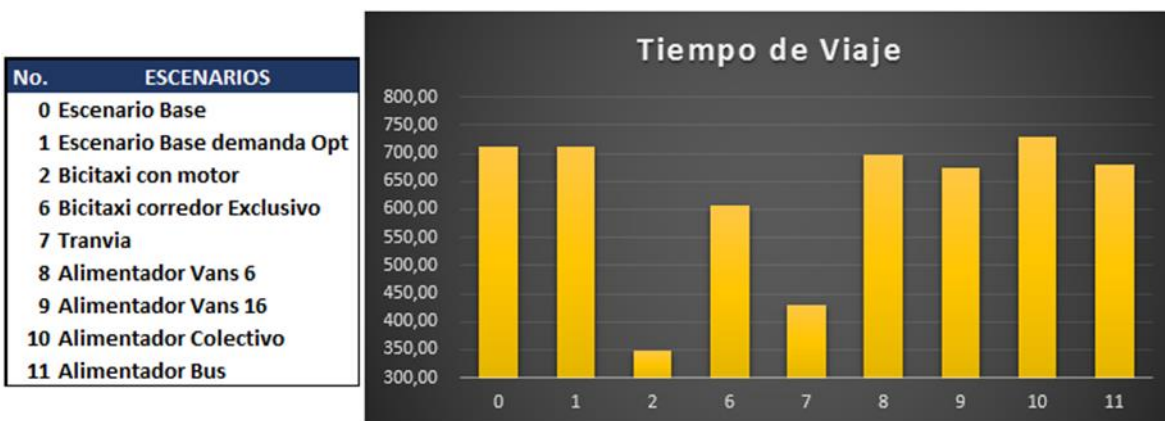


Figura 10. Tiempo de viaje por escenario modelado.  
Fuente: Elaboración propia.

El estudio también presenta un enfoque hacia el usuario, evaluando los tiempos de viaje de cada uno de los medios de transporte como lo indica la figura 10. Al observar detenidamente, se ve que el mejor escenario es el bicitaxi con motor, pero ¿Porque? El bici taxi a pesar de tener motor, es más lento que un bus alimentador, o que el tranvía, pero debido a que su capacidad es de dos personas, no tiene que realizar recorridos largos y



completos que recorran toda la zona, como si lo hacen los alimentadores o el tranvía, actualmente se hace un viaje de bicitaxi y se coordina para que ambos pasajeros tengan destinos similares, por lo que existe la posibilidad que se presenten viajes lejanos, como también destinos alrededor de los 500 metros, por lo que el tiempo de viaje resulta menor que un alimentador que recorre un corredor de más de dos kilómetros y sus tiempos de paradas.

Al contrastar estos datos obtenidos del corredor con el informe de Análisis de Movilidad Urbana: Espacio, Medio Ambiente y Equidad con la figura 11 que este presenta, se puede relacionar el resultado obtenido del bicitaxi con motor con la motocicleta que es el vehículo que más se asemeja, al comparar velocidad y versatilidad corresponde a tiempos de viaje menores.

Y en relación con otro modo que se observa tanto en los vehículos presentados para el proyecto como en los evaluados en el documento, podría decirse que el bus tipo vans de 16 puestos y el microbús se comportan similar al presentar tiempos de viaje con la misma tendencia en la gráfica 10 y 11, esta variable puede considerarse como clave y determinante en la elección modal, destino y frecuencia de viajes, ya que puede llevar a mejorar las condiciones de movilidad que se buscan en la planificación del transporte, y reducir significativamente las externalidades negativas que produce los desequilibrios originados por los tiempos de viaje, proporcionando beneficios para los actores que hacen parte de la movilidad cotidiana de los diferentes corredores. (Parras & Gómez, 2015)

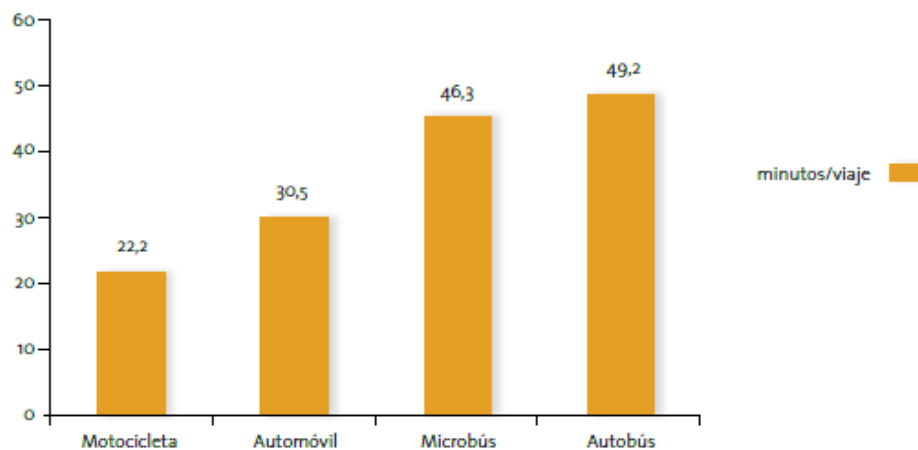


Figura 11. Tiempo de viaje en los modos de transporte más utilizados, grandes ciudades de América Latina (2007).  
Fuente: CAF-OMU (2010)

Ahora, teniendo los datos analizados de tránsito y transporte, se hace necesario cuantificarlos, por lo cual se utilizan los aspectos mencionados para la matriz de comparación de escenarios (variables de tránsito y transporte y tiempos de viajes). Se estipula una calificación de 1 a 5, siendo 1 el escenario más desfavorable, y 5 el mejor de



los escenarios en cada ítem evaluado. Densidad, Volumen, Demoras y Velocidad se promedian para ponderarlo de mejor forma, obteniendo los siguientes resultados.

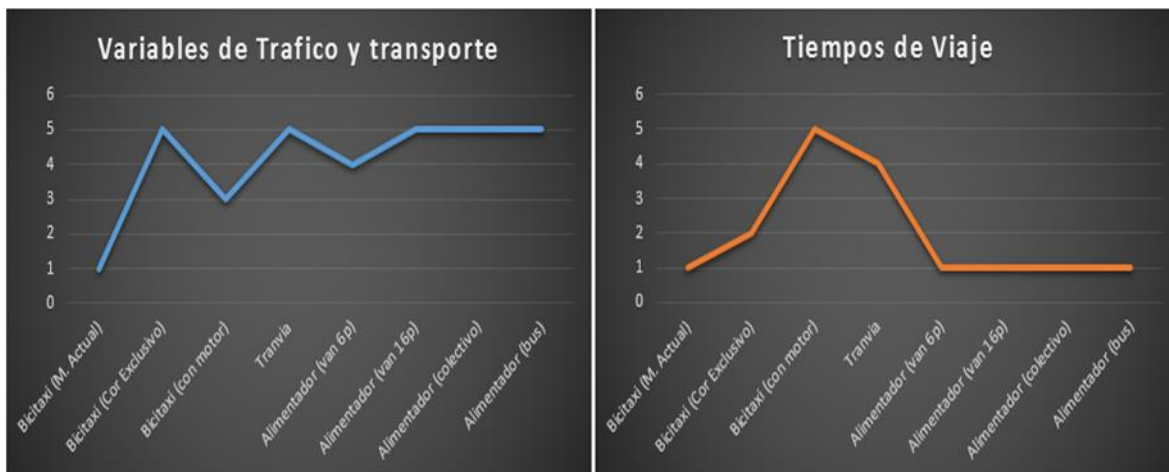


Figura 12. Comparación de variables de tráfico y transporte y tiempos de viaje según modos.  
Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver en la figura 12, que para los estudios de tránsito y transporte tres de los buses alimentadores, así como el tranvía y el corredor exclusivo presentan comportamientos favorables en comparación con los del modelo actual, el bicitaxi con motor y alimentador de 6 pasajeros. Sin embargo, al evaluar los tiempos de viaje, los bicitaxis presentan un mejor comportamiento, al igual que el tranvía, siendo los buses alimentadores los de más baja calificación. De allí la importancia de evaluar no uno sino varios aspectos al momento de elegir un medio de transporte, a pesar de que, en algunos estudios, los diferentes modos no sean los mejores, en otros aspectos (funcional, ambiental o económico) puede ser el mejor. Por tal motivo se evaluará el mejor escenario de acuerdo a los aspectos seleccionados que son aceptables en tránsito y transporte, brinde un tiempo de viaje adecuado, sea amigable con el medio ambiente, y sus costos de implementación y operación se encuentren en un rango aceptable para el distrito.

#### 4.2.2 Aspecto económico

Con respecto al análisis de costos asociados a proyectos de movilidad, no solo se tienen en cuenta variables relacionadas con el desplazamiento, sino externalidades de tipo económico y ambiental. De acuerdo con esto, los costos serán diferentes para cada modo de transporte, siendo determinante el estudio que permita a la actuación pública favorecer más algunas opciones según el objetivo que se persiga en términos de movilidad, de acuerdo a la zona del proyecto (Amariles, 2016). Como lo expresan Miralles y Cebollada (2003), el medio más eficiente resulta ser aquel que posee unos menores costes monetarios y temporales y que a su vez sea amigable con el medio ambiente y social en su espacio de interacción.

La evaluación en el aspecto económico, se realizó teniendo en cuenta dos tipos de costos, los costos iniciales de implementación, asociados al costo de inversión en infraestructura y los costos de la flota de vehículos, según el escenario en estudio. El otro tipo de costo evaluado fue el costo de operación, en el cual se contemplan costos de mano de obra, salarios, según el tamaño de la flota, y los costos asociados al mantenimiento. Los costos de operación totales, se estudiaron para un intervalo de 20 años, debido a que, según legislación colombiana, las flotas de vehículos utilizados para servicio público, deben ser reemplazadas pasado este tiempo.

Los únicos escenarios que requieren una inversión en cuanto a infraestructura se refiere, son el escenario del tranvía, y el escenario de bicitaxi con corredor exclusivo, que no solo resultan ser más costosos, sino que, además, limitan el sistema de transporte y su versatilidad, que es justamente lo que se busca reducir para dar una mejor cobertura del servicio de transporte al área en estudio.

*Tabla 8. Resumen costos de vehículos, infraestructura y mantenimiento por escenario.  
Fuente: Elaboración propia.*

<b>Vehículo</b>	<b>costo flota</b>	<b>costo infraestructura</b>	<b>Costo total Inversión Inicial</b>	<b>Costo mano de obra 20 años</b>	<b>Costo de mantenimiento a 20 años</b>	<b>Costo Total Operación a 20 años</b>
Bicitaxi Act Dem Opt	74.100.000	-	<b>74.100.000</b>	1.094.988.787	1.200.000.000	<b>2.294.988.787</b>
Bicitaxi con motor	46.500.000	-	<b>46.500.000</b>	15.603.590.218	912.000.000	<b>16.515.590.218</b>
Bicitaxi Corredor Exclusivo	74.100.000	263.246.291	<b>337.346.291</b>	15.603.590.218	912.000.000	<b>16.515.590.218</b>
Tranvía	18.000.000.000	80.000.000.000	<b>98.000.000.000</b>	8.486.163.101	620.000.000	<b>9.106.163.101</b>
Alimentador Vans 6	4.103.620.000	-	<b>4.103.620.000</b>	10.402.393.478	15.504.000.000	<b>25.906.393.478</b>
Alimentador Vans 16	2.184.750.000	-	<b>2.184.750.000</b>	4.106.207.952	4.860.000.000	<b>8.966.207.952</b>
Alimentador Colectivo	1.250.000.000	-	<b>1.250.000.000</b>	1.368.735.984	2.160.000.000	<b>3.528.735.984</b>
Alimentador Bus	2.100.000.000	-	<b>2.100.000.000</b>	821.241.590	1.440.000.000	<b>2.261.241.590</b>

Al graficar los escenarios a partir de los datos expuestos en la tabla 8, se obtiene la figura 13, donde se observa la comparación entre los costos de inversión inicial y costos de operación totales indicados en la tabla 8, el tranvía se encuentra notoriamente por encima de los demás escenarios en comparación, presentando costos que superan los 105 mil millones de pesos. Escenarios como el alimentador tipo vans de 6 puestos, presenta el mayor costo de operación, esto teniendo en cuenta que se requiere una cantidad considerable de conductores, y de vehículos cuyo mantenimiento por 20 años, lo hace poco competitivo en costos en relación con los demás. Esta misma situación se observa en los escenarios de bicitaxis, donde la cantidad de conductores es elevada, pero no presentan un alto costo por mantenimiento de los vehículos.

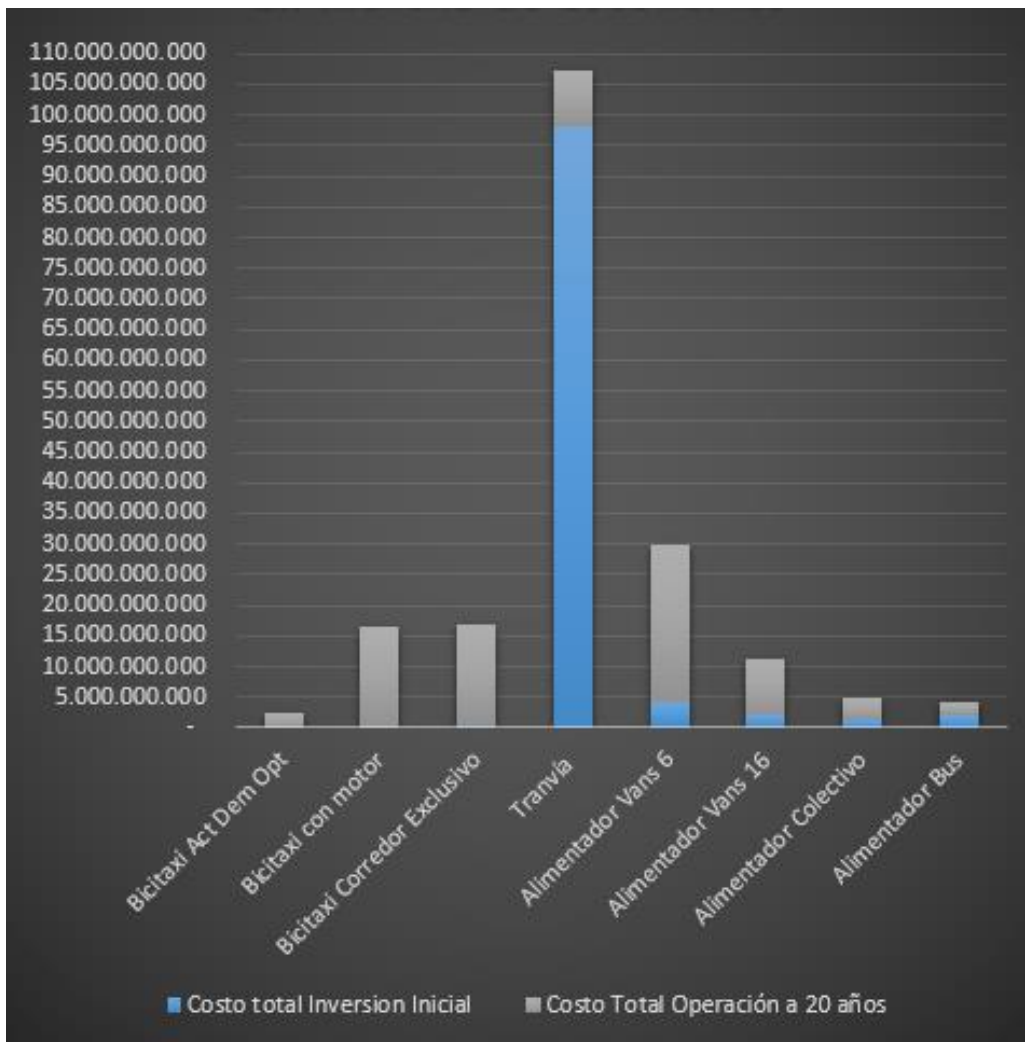


Figura 13. Costos de implementación y puesta en marcha de escenarios.  
Fuente: Elaboración propia.

Los alimentadores de mayor capacidad, son los que menos costos de operación requieren, son pocos vehículos y pocos conductores, lo que hace rentable trabajar estos sistemas, pero en estos se dan externalidades negativas en relación con aspectos de contaminación, transporte y tiempos de viaje, viéndose en desventaja con algunos de los demás escenarios.

Teniendo los datos de inversión inicial y costos de operación, se requiere cuantificarlos, por lo cual se utilizan los aspectos mencionados para la matriz de comparación de escenarios (Inversión inicial y costos de operación). Se estipula una calificación de 1 a 5, siendo 1 un escenario más desfavorable, y 5 el mejor de los escenarios en cada ítem evaluado, obteniendo los siguientes resultados.

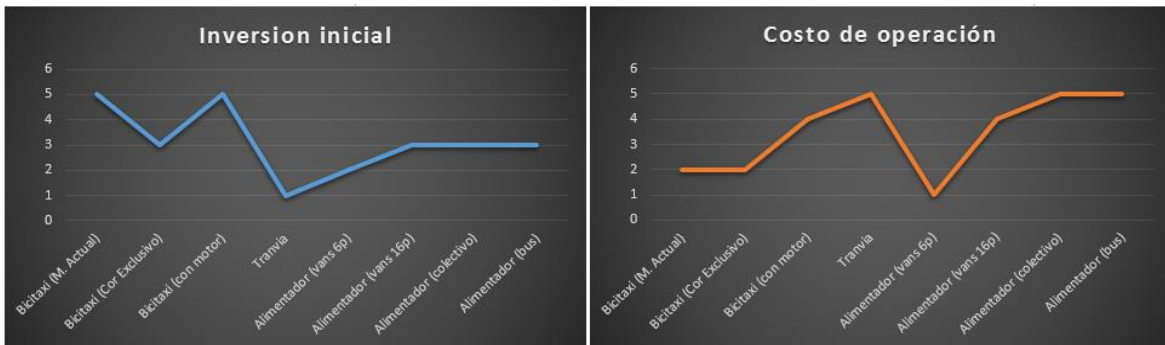


Figura 14. Comparación inversión inicial y costos de operación por escenario.  
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la gráfica 14, guardando las proporciones para las calificaciones, los mejores escenarios con menos costos para inversión inicial son el bicitaxi y su implementación con motor, seguido del bicitaxi con corredor exclusivo y los alimentadores, siendo muy desfavorable para el tranvía.

Para los costos de operación, la gráfica se comporta de manera diferente, siendo los vehículos de mayor capacidad de pasajeros los más rentables, como el tranvía y los alimentadores tipo colectivo y tipo bus. En este orden lo siguen el bicitaxi con motor, y alimentador de 16 puestos, y saliendo mal librados, los escenarios de bici taxis sin motor, y los alimentadores tipo vans 6 puestos, debido al elevado número de conductores que requieren y en el caso de la vans alimentadora, por el elevado costo de mantenimiento.

Según Mercado (2012) argumenta que la tendencia es buscar la minimización de los costos al seleccionar un modo de transporte; la tendencia es clara en los costos operacionales (por pasajero), ya que estos se ven disminuidos cuando se cuenta con vehículos de mayor tamaño. Sin embargo, resalta que el SITP debe tomar en cuenta las ventajas que pueden brindar los diferentes servicios de transporte que se encuentran en la ciudad, consiguiendo de este modo reducir costos y alcanzar una operación eficaz y competente. Esta es la tendencia mostrada en las gráficas y el análisis presentado anteriormente, ya que expone como los buses a medida que tienen mayor capacidad arrojan menores costos de operación, en cambio en los costos de implementación la favorabilidad es para los bicitaxis que son los que en la actualidad funcionan en la zona de evaluación del proyecto.

#### 4.2.3 Aspecto ambiental

Para la evaluación ambiental se estudiaron las emisiones para el corredor, así como el consumo de combustible, estas se analizaron por separado, pero se les otorga una calificación en conjunto, para tener en cuenta y ser analizada con los demás aspectos en consideración.

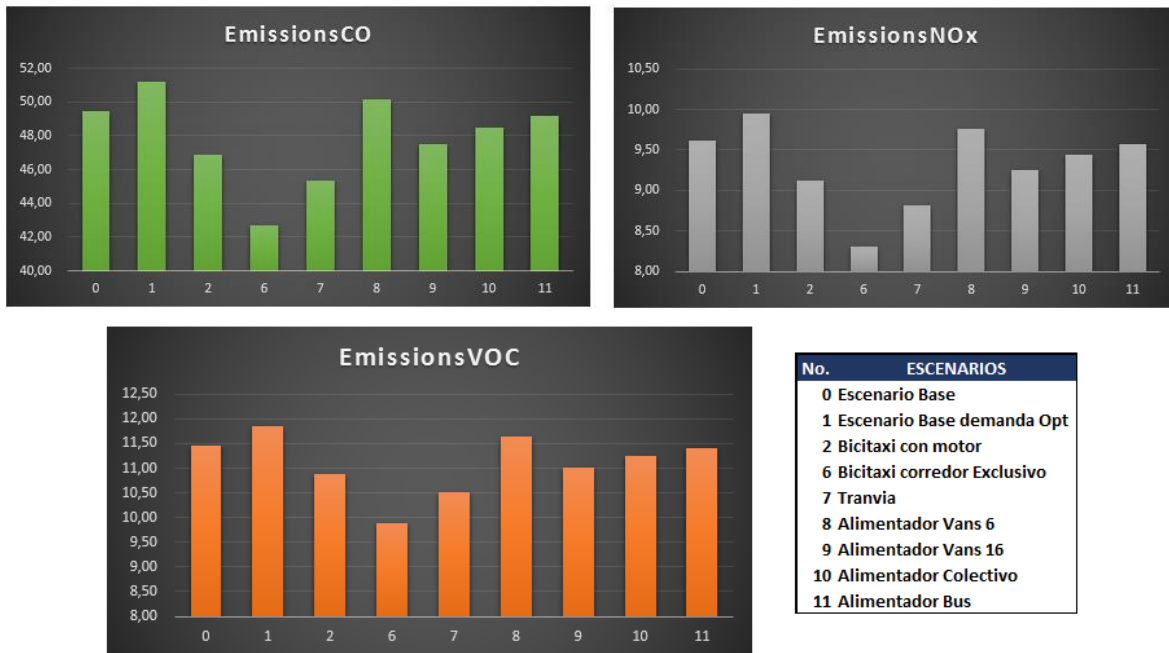


Figura 15. Emisiones de CO, NOx y VCO, por escenario simulado.  
Fuente: Elaboración propia.

Al observar las gráficas de las emisiones, podemos definir que los mejores escenarios son el bicitaxi con corredor exclusivo, con motor, y el tranvía. La implementación del bicitaxi como se encuentra ahora, pero cubriendo la demanda potencial, presentaría mayores demoras, lo que ocasionaría que los vehículos permanecieran más de lo deseado en el corredor, produciendo mayores emisiones. La velocidad del corredor es inversamente proporcional a las emisiones, esto se deduce de la figura 15 que en los escenarios de bicitaxi al que se le aplico motor y el tranvía que cuenta con corredor exclusivo, demuestra que aumentando la velocidad los resultados son menores emisiones. Los vehículos alimentadores, al tener emisiones propias, no tienen resultados favorables en este análisis, pues presentan mayor velocidad, pero sus recorridos son más largos, y contribuyen a la contaminación del corredor.

En relación con los vehículos de motor tipo diésel, buses y camiones, estos contribuyen con el 90% de las emisiones de materiales particulados, y el otro 10% lo aportan las motocicletas, pero también se advierte sobre como aportan los vehículos particulares a gas natural o gasolina, cuando en los tramos de vía de la ciudad contribuyen con la falta de movilidad, siendo por este motivo también causantes de contaminación atmosférica (Rojas, 2007). Anteriormente se indicó que los vehículos que saturan los tramos de vía reducen la velocidad y la movilidad ocasionando contaminación, sin importar que tipo de vehículo sea, por ejemplo el bicitaxi en el escenario base y en el escenario de demanda óptima, a pesar que se puede afirmar que por ser un vehículo que es impulsado con fuerza humana tiene cero emisiones, impide el flujo constante del tráfico, generando aglomeraciones que propician mayor número de emisiones por parte de los demás vehículos que ocupan la vía, lo que contrasta con los datos arrojados por la simulación de los diferentes escenarios.

Se plantea la necesidad de tener en cuenta en la elección de un modo complementario de transporte urbano, compatible con el medio ambiente que permita mejorar el tráfico y que a su vez sea más limpio, este es el desafío de los gobiernos de las ciudades, por tanto, es necesario inclinarse por aquellos que tengan menos emisiones, ya que la idea es contribuir a su reducción. Como se observa en la tabla 9, la región de América Latina ocupa el tercer puesto en el mundo en producción de emisiones, cifra que debe ser una alerta para repensar y proponer alternativas para cambiar esta situación, analizando proyectos de este tipo que, aunque son a escala pequeña, impactan, ya que, al replicarse, terminan siendo un modelo positivo a seguir.

Tabla 9. El peso de los automóviles densidad, elección modal y polución del aire por vehículos de transporte de personas.

Fuente: Ives Amsler, Banco Mundial, Dakar, 2001, en "Ciudades en Devenir", Comité de Seguimiento, Gobierno de Francia, [www.villesendevenir.org](http://www.villesendevenir.org)

Región	Densidad Hab/hectárea	Peatonal, bicicleta y transporte colectivo	Emisiones (CO, SO2, Nox, COV) por hab (kg)	Emisiones (CO, SO2, Nox, COV) por hectárea
USA y Canadá	18,5	14%	237	395
Europa Occidental	55	50%	88	4800
Asia (Ciudades ricas)	134	62%	31	3900
Asia (otras ciudades)	190	68%	84	14200
Africa	102	67%	148	8600
América Latina	90	64%	118	9300

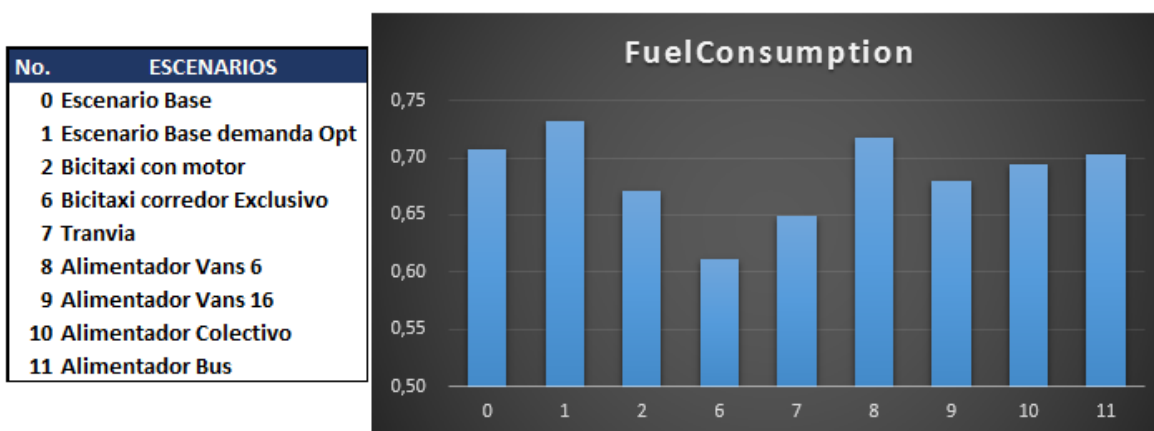


Figura 16. Consumo de combustible por escenario simulado.  
Fuente: Elaboración propia

En el consumo de combustible aplica el mismo análisis de las emisiones, a mayor velocidad del corredor, menor consumo, para vehículos que no presentan consumo de combustible. Los vehículos alimentadores a pesar de aumentar la velocidad, contribuyen con el consumo, y al tener desplazamientos continuos, no son la mejor opción ambientalmente hablando.



Así pues, la mejor alternativa frente a la reducción de consumos que es la pretensión, y buscando un sistema competente que utilice combustible la figura 16 muestra que el Tranvía y el bicitaxi con motor son los que muestran mayor favorabilidad. En la actualidad es necesario enfocar los esfuerzos para ayudar a fomentar la eficiencia energética en los sistemas de transporte, donde participan los vehículos individuales y los vehículos de transporte público urbano, enfocando a los usuarios a conocer y a usar más los modos disponibles del servicio público.

De lo anteriormente indicado, se tienen los datos de emisiones y consumos, pero se requiere cuantificarlos y contrastarlos, por lo cual se utilizan los aspectos mencionados para la matriz de comparación de escenarios (emisiones y consumo de combustible). Se estipula una calificación de 1 a 5, siendo 1 un escenario desfavorable, y 5 el mejor de los escenarios en cada ítem evaluado. Emisiones de óxidos nitrosos, óxidos de carbono, y compuestos orgánicos volátiles, se promedian para ponderarlo de mejor manera, obteniendo los siguientes resultados.

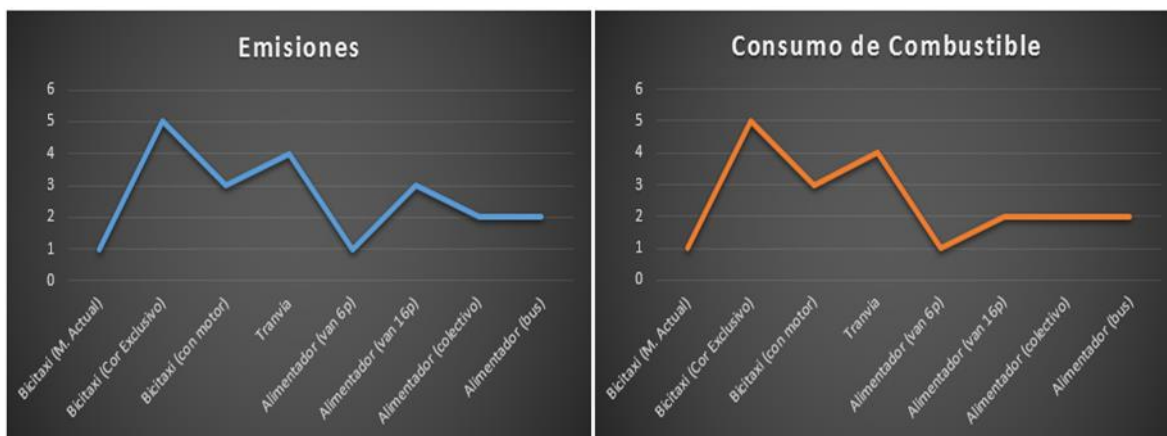


Figura 17. Comparación de emisiones y consumo de combustible por escenario simulado.  
Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en la figura 17, el mejor escenario ambientalmente hablando es el bicitaxi con corredor exclusivo, seguido de cerca del tranvía, ya que en ambos casos no se tienen emisiones propias, y la velocidad del corredor es buena. El bicitaxi con motor en emisiones presenta la misma calificación que uno de los alimentadores, pero en la evaluación del consumo saca una ventaja más a los diferentes vehículos alimentadores.

Es así como se revisa que medio es el más conveniente en el aspecto ambiental, ya que en la actualidad para disminuir considerablemente las emisiones de gases contaminantes, el transporte debe propender por encontrar unas soluciones y encaminarse a evitar los kilómetros innecesarios que un vehículo pueda recorrer, a través de la integración eficaz del transporte y el suelo, así como la mejora en operación y logística; también puede hacer cambios fomentando las modalidades eficientes del transporte y haciéndolas atractivas y viables para los pasajeros, todo encaminado a implementar estrategias de transporte sostenible. (Replogle, Ríos y otros, 2013)

### 4.3 Matriz de comparación de escenarios

La herramienta utilizada para comparar los escenarios entre sí, es una matriz de ponderación, similar a la matriz de perfil competitivo utilizada en mercadeo. Luego del análisis de la información arrojada por el software VISSIM, en cuanto a tránsito y medio ambiente se refiere, y se adiciona el análisis económico de cada escenario, obteniendo así una calificación según seis puntos evaluados que se consideran de importancia.

El cálculo para encontrar la calificación de cada uno de los escenarios consiste en tomar la calificación obtenida en cada factor, multiplicarlo por el peso de cada factor, y sumar el resultado para todos los factores, obteniendo una calificación entre 1 y 5, conociendo que entre más cercana se encuentre esta cifra a 5, será mejor.

*Tabla 10. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Bicitaxi actual.*

*Fuente: Elaboración propia*

Factores	Ponderación	Bicitaxi (M. Actual)	
		Calificación	Resultado Ponderado
Inversión inicial	22%	5	1,10
Costo de operación	18%	2	0,36
Emisiones	15%	1	0,15
Consumo de Combustible	12%	1	0,12
Variables de Tráfico y transporte	20%	1	0,20
Tiempos de Viaje	13%	1	0,13
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>2,06</b>

Según como se muestra en la Tabla 10 donde se observan los resultados de la calificación para el primer escenario, el bicitaxi con el funcionamiento actual, pero con la cantidad de vehículos requerida para suplir la demanda potencial, obtiene una calificación de 2,06. El factor que se resalta en este escenario es su mínima inversión inicial, pero hablando de transporte, son vehículos lentos y que ocupan un espacio considerable. Al tener una velocidad reducida ocasionan que vehículos contaminantes permanezcan por un mayor periodo de tiempo en el corredor, por lo cual se presenta una mayor contaminación.



Tabla 11. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Bicitaxi con corredor exclusivo.

Fuente: Elaboración propia.

Factores	Ponderación	Bicitaxi (Cor Exclusivo)	
		Calificación	Resultado Ponderado
Inversión inicial	22%	3	0,7
Costo de operación	18%	2	0,4
Emisiones	15%	5	0,8
Consumo de Combustible	12%	5	0,6
Variables de Tráfico y transporte	20%	5	1,0
Tiempos de Viaje	13%	2	0,3
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>3,63</b>

El segundo escenario, bici taxi con corredor exclusivo es uno de los mejores calificados como se observa en la tabla 11, presenta una notoria mejoría respecto a emisiones, disminuyendo el volumen de vehículos contaminantes sobre el corredor. En cuanto se refiere a las condiciones de tráfico en el corredor, también se presenta una mejoría notoria, debido que, a pesar de aplicar un corredor para su uso, se mantienen dos carriles para los vehículos particulares. Para los aspectos económicos, tiene una inversión inicial considerable, ya que la implementación de corredor exclusivo tiene asociados costos de infraestructura. Por otro lado, al tener una demanda elevada, y poca velocidad, se requiere una cantidad alta de vehículos para cumplir con la demanda, presentando los costos de mano de obra más elevados en comparación a los demás escenarios.

Tabla 12. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Bicitaxi con motor.

Fuente: Elaboración propia

Factores	Ponderación	Bicitaxi (con motor)	
		Calificación	Resultado Ponderado
Inversión inicial	22%	5	1,1
Costo de operación	18%	4	0,7
Emisiones	15%	3	0,5
Consumo de Combustible	12%	3	0,4
Variables de Tráfico y transporte	20%	3	0,6
Tiempos de Viaje	13%	5	0,7
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>3,88</b>

El bicitaxi con motor es el escenario que mejor calificación obtuvo como lo indica la tabla 12. Los bicitaxis y su correcta implementación son una buena alternativa, pero se ven condicionados por su velocidad y el espacio que ocupan, afectando la velocidad, densidad y volumen de los corredores viales. Se plantea el escenario con motor, para aumentar la velocidad de los vehículos, con esto se corrigen varios de los problemas de su

implementación, pasando de tener escenarios desfavorables, a ser la mejor opción. Aunque se aumenta la velocidad de los vehículos, sigue siendo más lento que un vehículo alimentador tipo bus, lo que hace que su calificación de aspectos ambientales y de tráfico y transporte no sean las mejores. Por otro lado, debido a que son vehículos de pequeña capacidad, sus recorridos están condicionados a los usuarios, por lo que pueden tener recorridos largos, que cubran todo el corredor, pero también pueden tener recorridos cortos, y no están obligados a desplazarse continuamente y recorriendo kilómetros innecesarios o rutas largas, que hace que los tiempos de viaje sean elevados.

Este escenario logra unificar la versatilidad de los bicitaxis, con su contribución ambiental, su bajo impacto en la movilidad, y sus mínimos costos de inversión, y asequibles costos de operación.

*Tabla 13. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario del Tranvía.*

*Fuente: Elaboración propia*

Factores	Ponderación	Tranvía	
		Calificación	Resultado Ponderado
Inversión inicial	22%	1	0,2
Costo de operación	18%	5	0,9
Emisiones	15%	4	0,6
Consumo de Combustible	12%	4	0,5
Variables de Tráfico y transporte	20%	5	1,0
Tiempos de Viaje	13%	4	0,5
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>3,72</b>

Como se observa en la tabla 13 el tranvía obtuvo la segunda mejor calificación, ya que al ser un medio de transporte que presenta cero emisiones, y la implementación de un carril exclusivo para el tranvía no afecta la movilidad del corredor, destacándose en cada uno de los aspectos, incluso presenta costos de operación mínimos. Su gran desventaja se encuentra principalmente en el elevado costo inicial, siendo por mucho, mayor que el de las demás opciones. Si bien es verdad que es una inversión que perdurara en el tiempo, la demanda del corredor no justifica la implementación de un tranvía, considerando que es un medio de transporte troncal, con poca versatilidad, y que tendría unos elevados tiempos de espera, haciendo poco acertada su implementación en el corredor de estudio.

Tabla 14. Calificación general del proyecto según factores considerados para el escenario Alimentador Vans 6 puestos.

Fuente: Elaboración propia.

Factores	Ponderación	Alimentador (vans 6p)	
		Calificación	Resultado Ponderado
Inversión inicial	22%	2	0,4
Costo de operación	18%	1	0,2
Emisiones	15%	1	0,2
Consumo de Combustible	12%	1	0,1
Variables de Tráfico y transporte	20%	4	0,8
Tiempos de Viaje	13%	1	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>1,82</b>

El escenario que presento más baja calificación es el del alimentador de 6 puestos como se observa en la tabla 14. Al ser este un vehículo más rápido que cualquier bicitaxi, y al tener mayor capacidad, podría pensarse inicialmente que este vehículo es la mejor opción, pero al revisar los resultados se encuentra que presentan mayores costos, y necesitan un mayor mantenimiento. Además, se requiere un elevado número de vehículos alimentadores, que en conjunto generan un gran impacto ambiental. Se rescata en este escenario y en de los automotores alimentadores tipo su contribución en la movilidad, pero que no representa una distancia considerable con los otros medios de transporte en estudio.

Tabla 15. Calificación general del proyecto según factores considerado para los escenarios Alimentador vans 16 puestos, colectivo y bus.

Fuente: Elaboración propia.

Factores	Ponderación	Alimentador (vans 16p)		Alimentador (colectivo)		Alimentador (bus)	
		Calificación	Resultado Ponderado	Calificación	Resultado Ponderado	Calificación	Resultado Ponderado
Inversión inicial	22%	3	0,66	3	0,66	3	0,66
Costo de operación	18%	4	0,72	5	0,90	5	0,90
Emisiones	15%	3	0,45	2	0,30	2	0,30
Consumo de Combustible	12%	2	0,24	2	0,24	2	0,24
Variables de Tráfico y transporte	20%	5	1,00	5	1,00	5	1,00
Tiempos de Viaje	13%	1	0,13	1	0,13	1	0,13
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>3,2</b>		<b>3,23</b>		<b>3,23</b>

Los alimentadores de 16 puestos, tipo colectivo y tipo bus presentan comportamientos similares en esta ponderación, sin llegar a ser la mejor opción como está indicado en la tabla 15. No se requiere una elevada cantidad de vehículos, por lo que su impacto en la movilidad es mínimo. Contribuyen a la contaminación, y este es el factor que prepondera en la diferencia con los mejores escenarios. Presenta una inversión inicial considerable, con mínimos costos de operación, siendo similares a los de otros escenarios. Se ve notoriamente afectado por los tiempos de viaje, debido a que los alimentadores por definición recorren un tramo específico que pretende cubrir de mejor manera una zona, por

lo que pasa de hacer un recorrido que en el caso del corredor es de poco más de dos kilómetros, a hacer un recorrido de más de seis kilómetros y medio.

Se llega a la conclusión, a través de este análisis al que se le estimaron unas calificaciones que pudieran permitir llegar a una decisión, a través de los aspectos más relevantes a tener en cuenta en los proyectos de transporte, que el mejor de los escenarios evaluados para alimentar una estación de TransMilenio intermedia, específicamente la del SENA, es el bicitaxi, pero con una mayor velocidad que la habitual, siendo un bicitaxi con motor.

Ahora bien, la implementación es completa si se logra introducir este medio, al sistema integrado de transporte público de Bogotá, y de unificar su tarifa con la tarjeta común entre buses del SITP y TransMilenio. Esta integración debe tener una reglamentación, y funcionar como complemento ideal, por lo que para este efecto se presenta los lineamientos a seguir, según normatividad existente, y con las modificaciones que este escenario amerite.

#### **4.4 Integración al Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)**

Según lo plantea Mercado 2012, se hace necesario un esquema de operación en el cual exista una articulación entre el sistema del transporte actual y los bicitaxis teniendo cinco pilares de integración: operativa, física, virtual, del medio de pago y tarifaria.

Para la integración operativa: busca establecer la planeación de viajes mediante horarios, recorridos y frecuencias que permita una adecuada adhesión al SITP, busca determinar tiempos de viaje, así como definir paraderos según el origen y el destino de los viajes. Para el escenario propuesto se plantea utilizar los destinos encontrados en el estudio de campo, por lo cual es labor de implementación definir logística asociada a la recepción y recolección de pasajeros.

Para la integración física. Se habla exclusivamente de la infraestructura o accesos al sistema. En la ciudad de Bogotá, algunas estaciones son abastecidas por buses alimentadores, los pasajeros no deben cancelar ningún monto al tomar estos medios de transporte y deben ser transportados hasta la estación de destino en la cual se busca garantizar que aborden el sistema de transporte masivo TransMilenio. Lo ideal sería que las personas fueran dejadas dentro de la estación, pero por cuestiones de infraestructura no siempre es posible. Algunas estaciones han optado por construir una estructura de descargue de pasajeros, en la cual para poder dejar la misma deben cancelar el pasaje, y en caso de abordar TransMilenio no se cobra el transbordo, esa sería la manera de integrar físicamente el corredor de bicitaxis con el SITP.

Para la integración virtual. Así como se mencionó en la integración física se debe implementar un sistema similar al usado actualmente, ya sea de tarifa de transbordo como se hace en la actualidad entre buses y TransMilenio o relación alimentador - estación, el usuario al ser descargado dentro del sistema mediante la integración física se ve obligado

a cancelar el pasaje, solo se requiere integrar estos torniquetes de ingreso para que la tarifa no sea cobrada al ingresar a la estación de TransMilenio.

Para la integración de medios de pago. Va de la mano con la integración virtual debido a que el medio de pago actual en el sistema integrado se basa en la tarjeta Tu Llave.

La integración tarifaria. Es entendida como la adopción y definición de un esquema tarifario que deje acceder a los usuarios del SITP a la utilización del conjunto de servicios de transporte, bajo la forma de cobro diferenciado por cada tipo de servicio, haciendo pagos adicionales por cada transbordo, siendo estos inferiores al primer cobro, y valido en condiciones de viaje que se encuentren dentro de un lapso que se define según las condiciones de operación del SITP, y que además considerara las características de longitud de viaje y las velocidades de operación en la ciudad de Bogotá. (Mercado, 2012, p. 25).

#### **4.5 Proyección del mejor escenario**

Teniendo en cuenta que se ha seleccionado el mejor escenario, siendo el bicitaxi con motor el medio de transporte que mejor se comporta y adecua para alimentar la estación de TransMilenio SENA, se procede a realizar una proyección estimada de los vehículos que demandan transitar por la vía, para ello se utiliza la tasa anual de crecimiento del tránsito (tabla 16) para la localidad en la cual se ha realizado el estudio, siendo de 0,57% la tasa anual de crecimiento para la localidad de Puente Aranda.

*Tabla 16. Tasas anuales de crecimiento del tránsito para Bogotá por localidad*  
*Fuente: Generación, modelación y simulación del comportamiento de Escenarios de Desarrollo Urbano, construidos a partir de las definiciones estratégicas y de los proyectos viales, urbanísticos y de transporte, incluidos en el Plan de Ordenamiento Territorial para los diferentes horizontes del mismo. Departamento Administrativo de Planeación Distrital (2001).*

Localidad		Periodo			
		2003 - 2007	2007 - 2010	2010 - 2015	2015 - 2020
1	Usaquén	2,53%	2,83%	4,18%	2,15%
2	Chapinero	1,31%	1,20%	2,42%	1,23%
3	Santa Fe	0,48%	0,44%	1,20%	0,52%
4	San Cristóbal	0,84%	0,47%	0,25%	0,58%
5	Usme	5,22%	3,65%	2,14%	3,01%
6	Tunjuelito	0,52%	0,02%	0,52%	0,33%
7	Bosa	2,18%	0,66%	1,35%	1,30%
8	Kennedy	1,52%	0,91%	1,10%	1,09%
9	Fontibón	1,61%	0,60%	1,02%	1,03%
10	Engativá	1,35%	0,81%	0,79%	0,97%
11	Suba	2,21%	2,09%	1,97%	1,75%
12	Barrios Unidos	0,83%	0,70%	1,99%	0,87%
13	Teusaquillo	1,07%	0,79%	1,63%	0,94%
14	Los Mártires	0,35%	0,18%	0,43%	0,29%
15	Antonio Nariño	0,27%	0,03%	0,21%	0,17%
16	Puente Aranda	0,65%	4,30%	0,86%	0,57%
17	La Candelaria	0,61%	0,39%	1,06%	0,56%
18	Rafael Uribe	0,60%	0,14%	0,81%	0,44%
19	Ciudad Bolívar	2,97%	3,90%	0,67%	2,38%

La tasa anual es la que se recomienda emplear para la proyección de volúmenes vehiculares mixtos, utilizando un modelo exponencial, que corresponde a:

$$T_f = T_o(1 + r)^n$$

Donde:

Tf: Transito futuro

To: Transito inicial

r: Tasa de crecimiento anual (en tanto por uno)

n: Número de años a los que se requiere proyectar el transito

El software VISSIM, permite simular modelos de tránsito en diferentes escenarios, por lo que luego de haber seleccionado el mejor medio de transporte, se aplicó el modelo exponencial para las demandas de tránsito, a 5 años, 10 años y 20 años, con el fin de evaluar la permanencia en el tiempo de las condiciones de tránsito aceptables para el corredor vial.

Se obtuvieron los mismos datos de evaluación presentados en cada uno de los escenarios, de acuerdo a los aspectos de tránsito y transporte, económicos y ambientales.

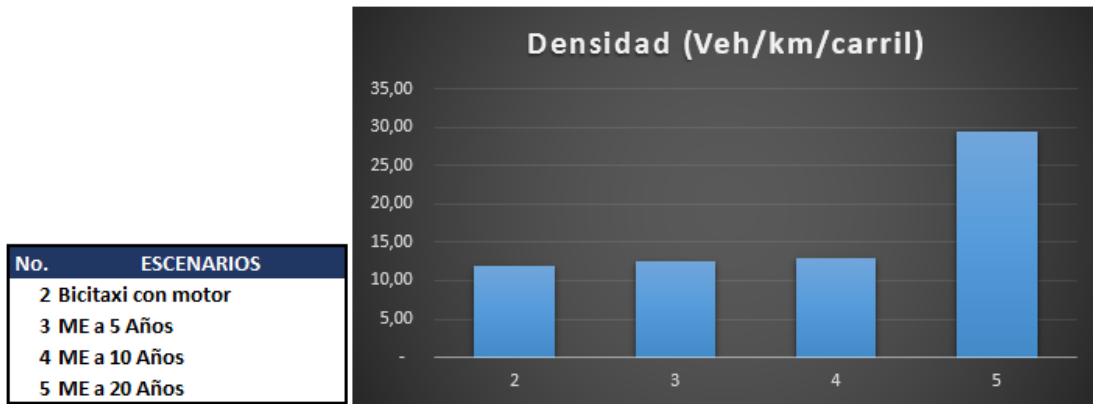


Figura 18. Densidad para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor).  
Fuente: Elaboración propia.

La densidad mostrada en la figura 18, se aumenta como se espera, pero entre los 10 años y 20 años, se presenta una diferencia en la densidad del más del doble, y donde se considera que, a pesar, que la vía aun presta un nivel de servicio aceptable, se ve afectado notoriamente por el aumento de los vehículos a través de la vía.

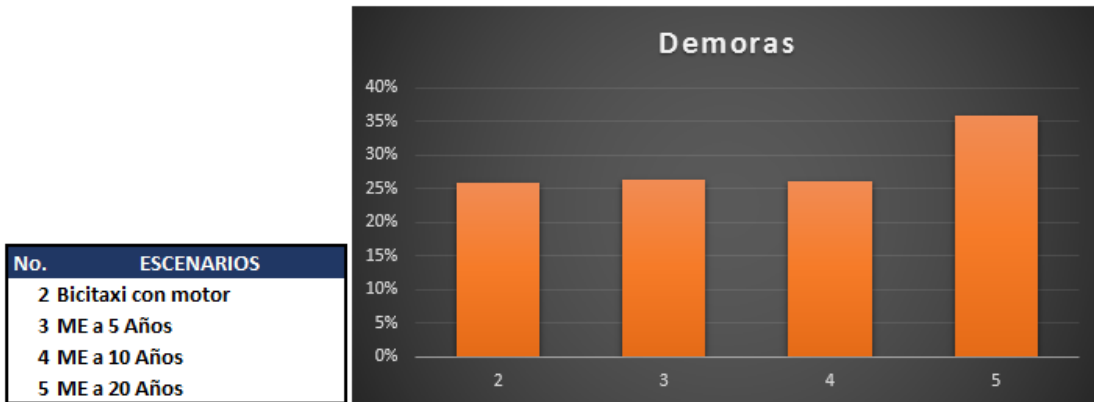


Figura 19. Demoras para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor).  
Fuente: Elaboración propia

Las demoras indicadas en la figura 19, se mantienen prácticamente constantes durante los primeros 10 años de proyección. Pero al considerar una proyección a 20 años, las demoras aumentan un 10%, que sigue siendo aceptable, pero para ese entonces se deberían considerar alternativas para mejorar la movilidad en el corredor.



Figura 20. Velocidad para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor).  
Fuente: Elaboración propia.

La velocidad observada en la figura 20, también se verá afectada en 20 años, se reducirá en 4 km/h lo cual muestra que, a pesar del incremento de vehículos, la velocidad en el corredor se logra mantener con un flujo de vehículos adecuado. A partir de estas tres gráficas, se puede determinar que, durante los primeros diez años de crecimiento, la vía se comporta de la misma manera, es decir que puede recibir una mayor demanda de vehículos sin afectar el comportamiento de la vía. Los efectos del crecimiento vehicular se comienzan a evidenciar a los 20 años, pero el nivel de servicio de la vía continúa siendo aceptable.

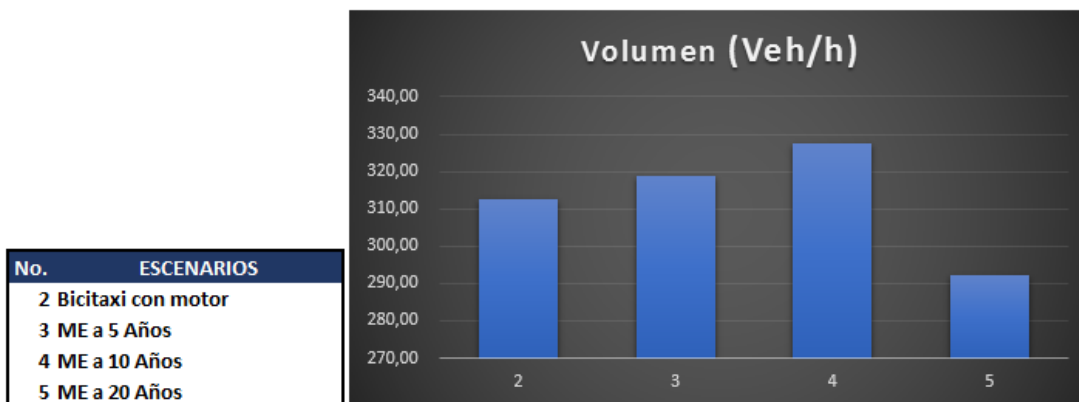


Figura 21. Volumen para mejor escenario modelado (Bicitaxi con motor).  
Fuente: Elaboración propia.

El volumen evidenciado en la figura 21, de vehículos en las proyecciones se mueve entre 290 y 330 vehículos por hora. Debido al aumento de los vehículos sobre la zona, el corredor vial se comienza a ver afectado, aumentan las demoras, se aumenta la densidad, y se reduce la velocidad, al reducirse la capacidad del corredor para que fluyan los vehículos, y por consiguiente el volumen de vehículos que se desplaza por la vía se reduce.



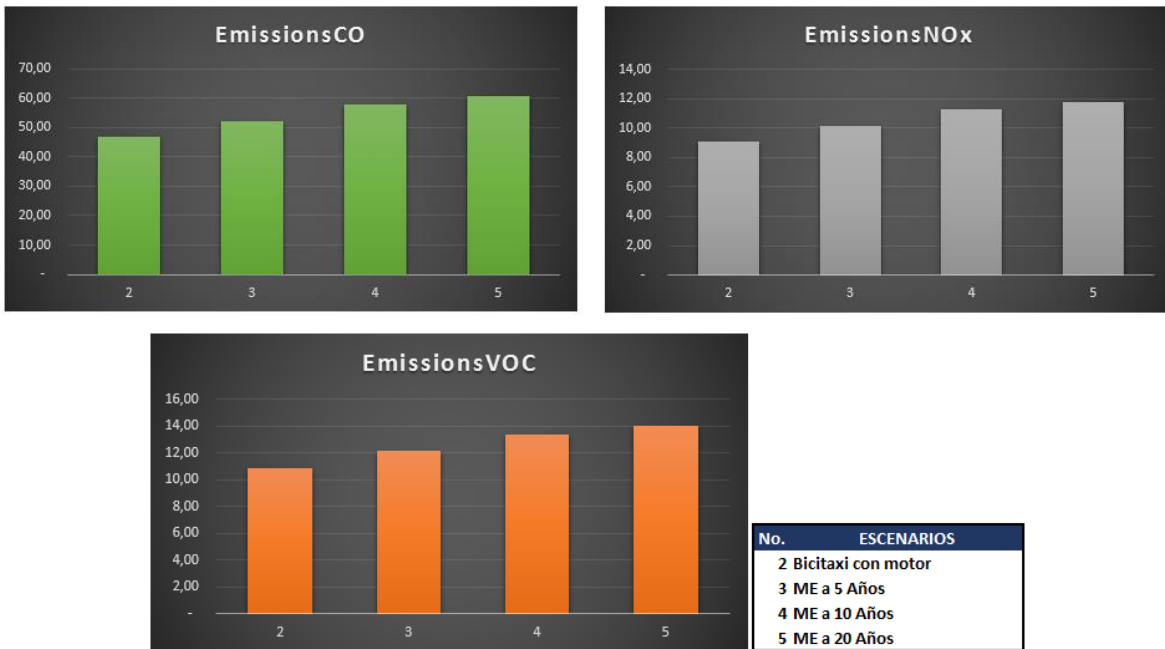


Figura 22. Emisiones de CO, NOx y VCO, para mejor escenario simulado (Bicitaxi con motor).  
Fuente: Elaboración propia.

Según lo expone la figura 22 y 23, las emisiones en el corredor como era de esperarse aumentan progresivamente, al igual que el consumo de combustible, y es una relación directa que se da por la cantidad de vehículos. A mayor número de vehículos, mayor es el impacto ambiental de la zona.

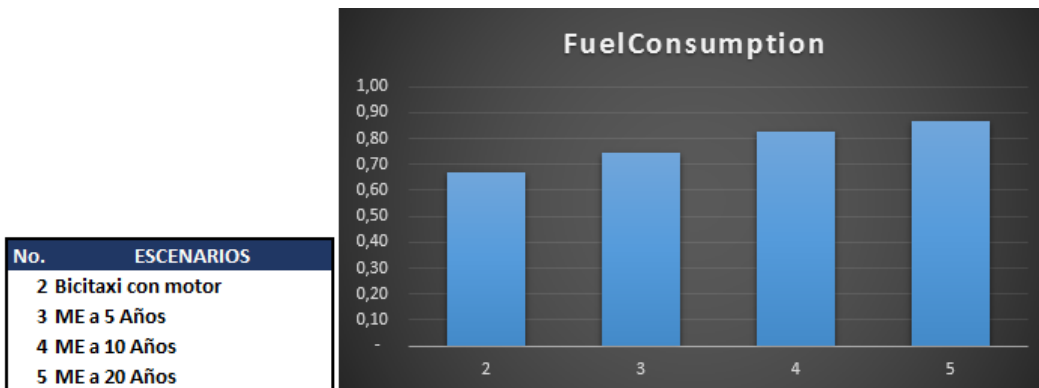


Figura 23. Consumo de combustible para mejor escenario simulado (Bicitaxi con motor).  
Fuente: Elaboración propia.

La solución obtenida es desde luego el resultado de la necesidad de la implantación de una iniciativa que se puede integrar al SITP, garantizando a los usuarios y operadores participar de un servicio que brinde unas condiciones y beneficios reales en la movilización de los usuarios del sistema, donde se mejoren los tiempos de viaje, la comodidad, la accesibilidad y se promueva la legalidad del servicio, integrando tarifas y cumpliendo con la regulación dada a nivel nacional.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo que la demanda aproximada que presenta la zona que va desde la Diagonal 16 entre la Avenida Quito y la Transversal 53 para abastecer la Estación del sistema troncal TransMilenio según los aforos elaborados para este trabajo, en la hora pico que va desde las 18:00 a las 19:00 horas, es de 911 usuarios, los cuales se dividen en el corredor de la siguiente manera: en la actualidad 108 toman el bicitaxi, 26 vehículos particulares, 74 taxi, 202 toman el SITP que va por la calle 8, y el resto de usuarios hacen sus recorridos a pie así: 272 caminan distancias mayores a 400 m y 229 distancias menores a 400 metros. Lo que permite determinar que de los 911 usuarios el 75% requieren del servicio complementario para realizar viajes desde y hacia la Estación SENA.

De acuerdo a los resultados se determinan y comparan las variables de tráfico evaluadas para los diferentes medios: bicitaxi, bus y tranvía simulados en los diferentes escenarios los resultados fueron los siguientes:

### Aspecto funcional:

- Las densidades indicadas para cada alternativa muestran al bicitaxi con corredor exclusivo con 9,6 Km/h como el mejor resultado, seguido del tranvía con 9,8 Km/h, resaltando el hecho que no ocupan las vías existentes, ya que tienen corredores exclusivos.
- Las demoras muestran que los escenarios que mejor comportamiento tienen en este aspecto es el de alimentador con vehículo tipo Vans de 6 puestos con el 25.5%, y el tipo Vans de 16 puestos con el 25,6% que son muy similares.
- Las velocidades señalan que se destaca el escenario del tranvía con 38 km/h, continuando con el escenario del bicitaxi con motor con 37,5 Km/h.
- Los volúmenes dan como el mejor resultado el escenario del bicitaxi con corredor exclusivo con 278 veh/h, y continúa con el tranvía con 286 veh/h.
- Tiempos de viaje se destaca la alternativa del bicitaxi con motor con 350 segundos y el tranvía con 427 segundos.

### Aspecto económico:

- El costo inicial da como mejor escenario el de bicitaxi con demanda óptima con un valor de \$ 74.100.000 pesos, seguido del bicitaxi con motor con \$ 46.500.000 pesos.
- Los costos de operación a 20 años reflejan como la mejor opción al alimentador tipo bus con un valor de \$ 2.261.241.590 pesos, seguido de la alternativa del bicitaxi actual con demanda optima por \$2.294.988.787 pesos.
- Comparando y unificando los costos el mejor comportamiento para este factor lo da el bicitaxi actual con demanda óptima.

### **Aspecto ambiental:**

- Las emisiones de gases, exponen que el mejor comportamiento lo tiene el escenario del bicitaxi con corredor exclusivo con 42.9 ppm de CO, 8,3 ppm de NO<sub>x</sub>, y 9,9 ppm de VOC, seguido del tranvía con 45.5 ppm de CO, 8,8 ppm de NO<sub>x</sub>, y 10,5 ppm de VOC.
- Para el combustible la mejor alternativa es el bicitaxi con corredor exclusivo con 0,61 galones, continuando con el tranvía con 0,65 galones.
- De acuerdo con los resultados obtenidos de la simulación el mejor escenario en el aspecto ambiental favorece al bicitaxi con corredor exclusivo.
- Calificar a través de los factores considerados más determinantes: inversión inicial, costo de operación, emisiones, consumo de combustible, variables de tráfico y transporte, y tiempos de viaje cada uno de los escenarios planteados, con el fin de obtener a través de este método el resultado que permita seleccionar la mejor alternativa.

Con respecto a los factores considerados en la matriz de comparación, donde se establece un peso para ponderar cada factor por medio de una calificación que va del 1 al 5 de peor a mejor resultado respectivamente, se obtiene el resultado de la opción a considerar que es el bicitaxi con motor con 3,88 que es el que mejor comportamiento mostró en la simulación, dando los resultados más favorables que se buscaban en el proyecto, logrando el objetivo principal, a través de la simulación, de encontrar una solución óptima para el corredor vial de la Diagonal 16 Sur entre la Avenida Quito y la Transversal 53, para lograr su operación como ruta alimentadora con un vehículo que permite desarrollar esta actividad de un modo eficiente en un horizonte de 20 años.

Es importante tener en cuenta los resultados de esta propuesta, que es una iniciativa que se plantea para la implementación de una ruta alimentadora para esta zona específica, u otra que tenga características semejantes, considerando la opción de un vehículo de menor capacidad que hoy en día es informal, pero que se puede llevar a un marco de legalidad para regularlo e integrarlo al sistema de transporte público urbano con el objeto de suplir la demanda de desplazamientos cortos.

## BIBLIOGRAFIA

- Amariles, P. (2016). *Determinantes de la elección del medio de transporte para asistir al sitio de trabajo principal: evidencia para Medellín (Colombia) 2014*. (Master's thesis, Universidad EAFIT).
- Alcántara, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/414>
- Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. (2006). Resumen Ejecutivo. Plan Maestro de Movilidad. Bogotá, D.C.: Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.
- Arbesú, A. (2003). *Posible nuevo escenario competitivo del ferrocarril de alta velocidad: las compañías aéreas de bajo coste*. Universidad Politécnica de Cataluña. Tesis.
- Burrieza, J. (2015). Plan de implantación de una línea de tranvía en Valladolid. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Cal, R., Reyes, M., & Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. Alfaomega Grupo Editor.
- Cámara de Comercio de Bogotá, C. D. C. (2007). *Perfil económico y empresarial: Localidad Puente Aranda*.
- Cascajo, R. (2006). *Efectos sobre la movilidad de metros y tranvías*. Ingeniería y territorio, (76), 40-47.
- Connolly, P. (2017). *¿Qué se gobierna en materia de transporte y movilidad? El caso de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco.
- Corena, C. (2014). *Estrategias de conexión para Transmilenio*. Bogotá (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Correa, J., Jimeno, S., Villamizar, M., (2017). *El tranvía de Bogotá, 1882 -1951*. Revista de Economía Institucional, Vol. 19, N° 36, p.p. 203-229
- Cuzo, M., Wilfrido, R., & Váscquez Barros, E. J. (2015). *Análisis de los niveles de servicio mediante la implementación del tranvía en la ciudad de Cuenca*. (Bachelor's thesis).
- Delgado, R. (1961). Competencia y coordinación entre los Sistemas de Transporte. Investigación Económica, 3-23.
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Apoyo del Gobierno Nacional a la Política de Movilidad de la Región capital Bogotá- Cundinamarca y declaratoria de importancia estratégica del proyecto sistema Integrado de Transporte Masivo – Soacha Fases II y III*. Documento CONPES 3882, Bogotá.

- Duarte, E. (2011). *El transporte público colectivo en Bogotá, D.C.: Una mirada desde la dinámica de sistemas*. En: Ingeniería, Vol. 16, No. 2, pág. 18 - 34.
- EADIC - Escuela Técnica Especializada. (s.f.). *Proyectos Ferroviarios. Metros y Tranvías*. Monografía.
- Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá Limitada. (2015). *Nuestro tranvía para quienes vivimos la ciudad metro a metro*. Revista metro.
- Hidalgo, D. (2005). *Comparación de Alternativas de Transporte Público Masivo - Una Aproximación Conceptual*. Revista de Ingeniería, (21), p.p. 94-105
- Héndez, P., Silva, A., & Ochoa, A. (2015). *Caracterización de la Movilidad en torno al corredor del Río Fucha. Insumo para la estructuración de la Estrategia de Intervención Integral Río Fucha*. Secretaría Distrital de Planeación.
- Houghton, J., Reiners, J., & Lim, C. (2009). *Transporte inteligente Cómo mejorar la movilidad en las ciudades*. IBM Institute for Business Value.
- Mercado, C. (2012). *Viabilidad técnica y financiera de la utilización del bicitaxi como medio de transporte público en el marco del Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá DC*. (Tesis de maestría). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Fomento. (2001). *Encuesta de Movilidad de las personas residentes en España. MOVILA 2000*.
- Miralles, C., & Cebollada, Á. (2003). *Movilidad y transporte: opciones políticas para la ciudad*. Fundación Alternativas.
- Montes, t. s. (s.f.). Localidad de Puente Aranda narrativa de caracterización territorial. Bogotá.
- Moller, R. (2005). *Gestión ambiental del transporte urbano bajo criterios de desarrollo sostenible*. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, (4), p.p. 19-28.
- Mollinedo, C. (2006). *Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. Economía Sociedad y Territorio*. (22), p.p. 283-32.
- NTL (s.f.). *Tranvía sobre neumáticos Translohr*. Folleto de caracterización de vehículos.
- Litman, T. (2009). *Costo de transporte y análisis de beneficios*. Victoria Transport Policy Institute, 31.
- Orozco, J., & Arenas, F. (2013). *Aproximación al desarrollo de un sistema de transporte masivo a través de la dinámica de sistemas*. Sistemas & Telemática, 11 (24), 91-106.

- Pardo, C. (2008). *Los cambios en los sistemas integrados de transporte masivo (SITM) en ciudades de América Latina*. CEPAL. Edición N. 259
- Parras, M., & Gómez, É. (2015). *Tiempo de viaje en transporte público. Aproximación conceptual y metodológica para su medición en la ciudad de Resistencia*. Revista Transporte y Territorio, (13).
- Repogle, M., Ríos, R., Porter, C., Tao, W., Iannariello, M., Dutt, G., Arango, F. (2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte*. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. IX. Serie.
- Rojas, E., Cuadrado, J., & Fernández, J. (2005). *Gobernar las metrópolis*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Rojas, N. (2007). *Aire y problemas ambientales de Bogotá*. Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia.
- Suzuki, H., Cervero, R., & Iuchi, K. (2014). *Transformando las ciudades con el transporte público. Integración del transporte público y el uso del suelo para un desarrollo urbano sostenible*. World Bank, Washington DC. Versión en español de la Universidad de los Andes.
- Transmilenio, S. A. (2016). *Transmilenio en cifras. Estadísticas de oferta y demanda del Sistema Integrado de Transporte Público–SITP*. Informe N 34.
- Tovar, S., (2012). *Las Implicaciones del Tranvía propuesto por Petro*. SUR Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Uniandes.
- Secretaría Distrital de Planeación (2013). *Índice de Movilidad en Bogotá*. Ciudad de Estadísticas. Boletín No. 55
- Universidad Nacional de Cuyo. *Cátedra de Transporte*. Facultad de Ingeniería.
- Urazán, C., & Velandia, E. (2012). *Consideraciones sobre el esquema del Sistema Integrado de Transporte Público para Bogotá*. Épsilon, 18, 105-121.
- Wessels, G., Pardo, C., & Bocarejo, J. (2012). *Hacia una metrópoli de clase mundial orientada al transporte público*. Bogotá, Bogotá, 21.

## **ANEXOS**

Anexo A. Volúmenes tablas

Anexo B. Recorridos promedio

Anexo C. Datos de proyección

Anexo D. Datos base

Anexo E. Costos de vehículos

Anexo F. Matriz comparación de escenarios