

MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO DE
TRANSPORTE PÚBLICO EN LA AVENIDA BOYACÁ ENTRE LA AVENIDA
AMÉRICAS Y LA CALLE 127 DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ MEDIANTE
DINÁMICA DE SISTEMAS.

JAIRO ALFONSO VELANDIA MEDINA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ALTERNATIVA DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D. C.
2020

MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO DE
TRANSPORTE PÚBLICO EN LA AVENIDA BOYACÁ ENTRE LA AVENIDA
AMÉRICAS Y LA CALLE 127 DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ MEDIANTE
DINÁMICA DE SISTEMAS.

JAIRO ALFONSO VELANDIA MEDINA
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
INDUSTRIAL

Director
OSWALDO GONZALEZ YAZO
Ingeniero Industrial- Msc en Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
ALTERNATIVA DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D. C.
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

Bogotá D.C. 05 de mayo 2020



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 2.5 Colombia (CC BY-NC-SA 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Compartir bajo la Misma Licencia — Si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia quiero agradecer al ingeniero Isaac Huertas Forero, por asesorarme en esta última fase de desarrollo y terminación de este proyecto.

A mis familiares, amigos y conocidos, que de una u otra forma hicieron parte del desarrollo de esta etapa de formación como ingeniero industrial. Por su paciencia, dedicación, apoyo y entrega hacia nosotros para que se culminara la entrega de este trabajo de la mejor manera posible.

A los docentes que, a lo largo de esta etapa de estudio de pregrado, influyeron en cada uno de los aspectos desarrollados en esta tesis y por el conocimiento generado.

Finalmente, quiero agradecer a Dios, por darme la oportunidad de estar aquí, por tener la suerte de cruzarme en el camino con las personas anteriormente mencionadas.

“Amado mío, esta vida no es una prueba, ni un escalón, ni un paso en el camino, ni un ensayo, ni un preludio hacia el paraíso. Esta vida es lo único que hay aquí y ahora y lo único que necesitas”.

Baruch de Spinoza

DEDICATORIA

A cada una de las maravillosas personas que conocí durante mi estancia en esta universidad, que me han dejado experiencias, enseñanzas, historias y momentos únicos e inolvidables, simplemente gracias por apoyarme, por coincidir, por aportar como profesional, como persona.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	12
INTRODUCCIÓN	14
1. GENERALIDADES	16
1.1. ANTECEDENTES	16
1.1.1. Antecedentes relacionados con el transporte público en la ciudad de Bogotá.	16
1.1.2. Estudios realizados en Dinámica de sistemas con respecto al transporte masivo.	17
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Planteamiento del problema.	18
1.2.2. Formulación del problema.	20
1.3. OBJETIVOS	20
1.3.1. Objetivo General.	20
1.3.2. Objetivos Específicos.	20
1.4. JUSTIFICACIÓN	21
1.5. DELIMITACION	22
1.5.1. Espacio.	22
1.5.2. Tiempo.	22
1.5.3. Contenido.	22
1.5.4. Alcance.	22
1.6. MARCO DE REFERENCIA	23
1.6.1. Marco teórico.	23
1.6.2. Marco conceptual.	30
1.6.3. Marco legal.	33
1.6.4. Marco histórico.	33
1.7. METODOLOGÍA	35
1.7.1. Fuentes de información.	35
1.8. DISEÑO METODOLÓGICO	35
1.8.1. Fase 1. Recopilación de información del sistema.	35
1.8.2. Fase 2. Diagnóstico y análisis de información.	35
1.8.3. Fase 3. Modelación del sistema característico.	36
2. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE MOVILIDAD EN EL TRAMO ESTUDIADO MEDIANTE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PROVENIENTE DE FUENTES OFICIALES Y LA RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACTORES CRÍTICOS	37
2.1. CARACTERIZACIÓN AVENIDA BOYACA EN EL TRAMO LOCALIZADO ENTRE LA AVENIDA AMERICAS Y LA AVENIDA CALLE 127.	37

2.1.1. Características viales.	37
2.1.2. Semaforización.	39
2.1.3. Velocidad promedio.	40
2.1.4. Malla vial.	41
2.1.5. Accidentalidad.	43
2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN LOGÍSTICA EN LA AVENIDA BOYACÁ.	45
2.2.1. Estudio de tiempos.	45
2.2.2. Capacidad y demanda de los vehículos.	51
2.2.3. Volumen de vehículos.	54
2.2.4. Cantidad de Rutas del SITP en el tramo.	60
2.2.5. Frecuencia de rutas.	61
3. DIAGNÓSTICO DE LOS ELEMENTOS QUE INTERACTÚAN EN EL SISTEMA DE MOVILIDAD DE TRANSPORTE PÚBLICO ACTUAL EN EL TRAMO DE LA AVENIDA BOYACÁ COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA LAS AMÉRICAS Y LA AVENIDA BOYACÁ.	62
4. PROPUESTA PARA ESTABLECER LOS INDICADORES DE FLUJO DE MOVILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA	64
5. GENERACIÓN DEL MODELO DE OPERACIÓN DE TRÁFICO DE PASAJEROS DE TRANSPORTE PÚBLICO MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DE MULTIANÁLISIS	67
5.1. RESULTADOS OBTENIDOS.	67
5.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO	73
6. CONCLUSIONES	78
7. RECOMENDACIONES	80

TABLA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Zonas operacionales de la ciudad de Bogotá para el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)	16
Figura 2. Modelo de vehículos servicios prestados por SITP	23
Figura 3. Modelo bus dual híbrido sistema Transmilenio	24
Figura 4 Modelado 3D estación Regiotram.	25
Figura 5 Sistema Transmicable en la ciudad de Bogotá	26
Figura 6 Pilares del transporte	28
Figura 7. Estructura de retroalimentación negativa en el proceso básico de toma de decisión.	29
Figura 8. Etapas relevantes en la dinámica de sistemas	30
Figura 9. Transporte público en la ciudad de Bogotá.	34
Figura 10. Metodología del proyecto	35
Figura 11. Distancia de la Av. Boyacá entre la Av. De las Américas y la Avenida Calle 127.	38
Figura 12. Tramo de la Av. Boyacá	39
Figura 13. Semáforo Avenida Boyacá con Calle 12	40
Figura 14. Velocidad Avenidas principales de Bogotá año 2017	41
Figura 15. Promedio de velocidad Avenidas principales de Bogotá año 2017	41
Figura 16. Estado Malla Vial Urbana	42
Figura 17. Estado vial localidades de Kennedy, Fontibón, Engativá y Suba	42
Figura 18. Puntos con alta concentración de fallecidos y velocidad en corredores arteriales 2012-2016.	44
Figura 19. Cifras de Accidentes de Tránsito en Bogotá entre 2015 y 2016	45
Figura 20 .Tiempos de viaje y de espera Avenida Boyacá entre Avenida Américas y Avenida Calle 127	46
Figura 21.Tiempos de viaje y de espera horarios Avenida Boyacá entre Avenida Américas y Avenida Calle 127.	48
Figura 22. Tiempos de viaje y de espera diarios Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida Américas.	49
Figura 23. Tiempos de viaje y de espera horarios Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida Américas.	51
Figura 24. Datos de oferta del Sistema Integrado de Transporte de público de Bogotá	51
Figura 25. Comparativo entre flotas de vehículos existentes en la ciudad de Bogotá D.C.	52

Figura 26. Mapa de demanda de viajes de transporte público por persona.	52
Figura 27. Mapa de aumento de población por localidades.	53
Figura 28. Número de vehículos Avenida Boyacá con Calle 72 22/03/2018.	56
Figura 29. Porcentaje de incidencia por tipo de vehículo en la Avenida Boyacá.	56
Figura 30. Porcentaje de compra de vehículos por sector.	57
Figura 31. Tendencia de aumento de vehículos particulares	58
Figura 32. Encuesta mensual de comercio al por menor y comercio de vehículos	58
Figura 33. Grafica de participación del transporte público colectivo por clase de vehículo en la ciudad de Bogotá.	59
Figura 34. Evolución del transporte público informal vs evolución de la población de la ciudad de Bogotá.	60
Figura 35. Rutas que inciden en el tramo comprendido desde la Avenida de las Américas hasta la Avenida Calle 127 en la Avenida Boyacá	61
Figura 36. Diagrama causal del Sistema de movilidad de la Avenida Boyacá en el tramo desde la Avenida Américas hasta la Avenida Calle 127.	62
Figura 37. Identificación de las variables del modelo actual.	64
Figura 38. Diagrama de Forrester	67
Figura 39 Tiempo de movilidad	68
Figura 40 Árbol causal de movilidad	68
Figura 41 Diagrama de comportamientos causales	69
Figura 42 Diagrama de cantidad de vehículos	70
Figura 43 Comportamiento tiempo de espera	71
Figura 44 Comportamiento variable cantidad de vehículos transporte público	71
Figura 45 Comportamiento variable demanda de pasajeros	72
Figura 46 Comportamiento variable cantidad de vehículos transporte livianos	73
Figura 47 Comparación modelo sin semaforización del tramo	74
Figura 48 Comparación variable movilidad modificando los valores de tasa de aumento de vehículos.	75
Figura 49 Comparación variable movilidad modificando los valores de porcentaje de mal estado de las vías.	76
Figura 50 Comparación variable movilidad modificando los valores de porcentaje de mal estado de las vías y cantidad de semáforos.	77

TABLA DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Promedio de tiempos diario del Trayecto Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida de las Américas en la ciudad de Bogotá.	46
Cuadro 2. Promedio de tiempos horarios del Trayecto Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida de las Américas en la ciudad de Bogotá.	47
Cuadro 3. Promedio de tiempos en la Avenida Boyacá en el Trayecto desde la Avenida de las Américas hasta la Avenida Calle 127 Boyacá en la ciudad de Bogotá.	48
Cuadro 4. Promedio de tiempos horarios del Trayecto Avenida Boyacá entre Avenida de las Américas y Avenida Calle 127 en la ciudad de Bogotá.	50
Cuadro 5. Distribución porcentual del suelo según criterios de hábitat por localidad de Bogotá.	54
Cuadro 6. Volumen horario en vehículos mixtos para la intersección	55
Cuadro 7. Cantidad de vehículos de transporte colectivo por tipo de flota en los años 2008-2015	59
Cuadro 8. Identificación de los indicadores de servicio.	65
Cuadro 9. Parámetros del modelo	66
Cuadro 10. Resultados variables de nivel	67
Cuadro 11 Comparación de valores de variable movilidad con respecto a variable semáforos.	74

GLOSARIO

BTR (BUS TRANSIT RAPID): Es un sistema de tránsito basado en autobuses normalmente articulados y biarticulados para el transporte masivo de pasajeros de manera rápida y rentable a capacidades de nivel metropolitano. Dicho sistema funciona a través de carriles dedicados, con vías de buses y estaciones icónicas que generalmente se alinean con el centro de la carretera, la recolección de tarifas a bordo y las operaciones rápidas y frecuentes.

CAPACIDAD DEL SISTEMA DE TRANSPORTE: Es un término que indica la cantidad máxima de elementos que soporta el sistema y depende de variables como tiempo de vida, cantidad de pasajeros y peso que soporta, entre otros.

OFERTA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE: La oferta es un término utilizado para describir los recursos disponibles brindados por la empresa o ente que ofrece el producto o servicio, es decir, la capacidad real del oferente o prestador del producto o servicio.

DEMANDA DEL SISTEMA DE TRANSPORTE: Indica las necesidades básicas a solventar en el sistema mencionado.

SIMULACIÓN: La simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo.

DIAGRAMA CAUSAL: Es un conjunto de elementos que tienen relación con el problema a resolver y permiten explicar el comportamiento observado, de manera gráfica, junto con las relaciones entre ellos, en muchos casos de retroalimentación, forman el Sistema.

MODELO: Un modelo es una representación de una realidad en la que los elementos que la componen deben ser aquellos considerados los más relevantes para la estructura de este. El modelo representa una fracción de la realidad y su principal función es predecir el comportamiento de un sistema o entidad modelada para solventar un problema en una entidad bastante compleja.

SISTEMA: Es una unidad compuesta de elementos que interactúan entre sí y que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de

lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes.

RESUMEN

El estudio y análisis del transporte público en ciudades como Bogotá, surge como necesidad de identificar los factores y variables cualitativas y cuantitativas que interactúan, estableciendo parámetros que permiten reconocer el comportamiento del mismo y generan estrategias para posibles intervenciones que se pueden realizar buscando la mejora continua del sistema.

En relación con lo anteriormente expuesto, se desarrolla este proyecto para la construcción de un modelo mediante dinámica de sistemas en el tramo comprendido entre la Avenida de las Américas y la Avenida Calle 127 de la Avenida Boyacá, determinando las causas que afectan a los usuarios del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), utilizando los recursos disponibles y generando propuestas para satisfacer la demanda de pasajeros y las necesidades de cumplimiento de tiempos en la movilidad.

De acuerdo con las propuestas y adjudicaciones de proyectos de mejoramiento del transporte público como la construcción del Metro de Bogotá y la realización de distintas troncales de Transmilenio, una de estas proyectada en la Avenida Boyacá, la cual está inscrita en el decreto 190 de 2004 y se encuentra en etapa de factibilidad y diseños según el IDU. Sin embargo, este no es el principal factor que afecta la movilidad de dicha avenida, en la cual, los de vehículos de carga pesada (631 vehículos/hora) y flotas intermunicipales (235 vehículos/hora) transitan con mayor frecuencia que en otras vías principales de la ciudad.

Inicialmente, se plantea la recolección de información logística y propia del sistema necesaria para la generación de un diagnóstico, empleando distintas herramientas de ingeniería de tal forma en que construyan diagramas causales que interconecten las variables del sistema, jerarquizando y clasificando no solo los flujos existentes en el sistema, sino las variables y sus efectos dentro del sistema para la construcción y posterior ejecución del modelo realizado con el programa computacional Vensim, con el cual se realizó el análisis de sensibilidad para evaluar la validez del modelo. Este modelo proporciona una herramienta útil en la toma de decisiones y la visualización del comportamiento desde varias perspectivas y consideraciones.

Palabras Clave: Simulación, Dinámica de Sistemas, Transporte Público, Movilidad, Modelo Matemático, Sistemas computacionales.

ABSTRACT

The study and analysis of public transport in cities such as Bogotá, arises as the need to identify the factors and qualitative and quantitative variables that interact, establishing the parameters that allow recognizing its behavior and controlling strategies for possible problems that can be carry out seeking continuous improvement of the system.

In relation to the above, this project is developed for a model's construction using system dynamics in the traffic in Avenue Boyacá between Avenue "de las Américas" and Avenue "Street 127", determining the causes that affect users of the Integrated Public Transport System (SITP), using the available resources and generating proposals to satisfy the passenger demand and the needs of compliance with mobility times.

In accordance with the proposals and awards of public transport improvement projects such as the construction of the Bogotá Metro and the realization of different Transmilenio trunks, one of these projected on Boyacá Avenue, which is registered in decree 190 of 2004 and It is in the feasibility and design stage according to the IDU. However, this is not the main factor affecting the avenue's mobility, in which heavy-duty vehicles (631 vehicles / hour) and inter-municipal fleets (235 vehicles / hour) transit more frequently than on other main roads in the city.

Initially, the collection of logistics and system information necessary for the generation of a diagnosis is proposed, using different engineering tools in such a way that causal diagrams are constructed that interconnect the system's variables, ranking and classifying not only those directly affected. the system, the variables and their effects within the system for the construction and subsequent execution of the model carried out with the Vensim computer program, with which the sensitivity analysis was carried out to assess the model's validity. This model provides a useful tool in decision making and visualizing behavior from various perspectives and considerations.

Key Words: Simulation, Systems Dynamics, Public Transport, Mobility, Mathematical Model, Computer Systems.

INTRODUCCIÓN

La importancia del estudio sobre transporte de mercancía y personas en la ingeniería, principalmente en la ingeniería industrial a través de la historia ha generado que la logística y cadenas de suministro como línea de acción sea cada vez más amplio y esté en constante cambio. Para el hombre, el transporte de cargas y personas con la optimización de los recursos disponibles ha sido un reto que se soluciona mediante el ingenio en tecnologías e inversión a mediano y largo plazo.¹ Teniendo en cuenta que la logística hoy en día se ha enfocado principalmente en el estudio de distribución de cargas, es de gran relevancia el método en que se movilizan las personas, pues al aumentar la calidad del transporte y la eficiencia en sus modos y medios, las personas van a mejorar su calidad de vida. Esto se puede evidenciar en distintas ciudades en las que se estudian, adaptan e innovan factores como indicadores de servicio, productividad y eficiencia en los sistemas de transporte público para la mejora continua².

Según reportes realizados por la Cámara de Comercio de Bogotá, el nivel de servicio de transporte público en las ciudades metropolitanas es un indicador el nivel de progreso frente a su economía, política, sociedad, importancia ambiental, entre otras³, por lo cual se vuelve un factor determinante en el estudio a realizar, ya que permite visualizar, analizar y concluir la optimización de recursos tangibles e intangibles, teniendo como principal objeto de estudio la medición de costos y tiempos de operación de los sistemas de transporte.

El incremento poblacional por migración nacional y extranjera en los últimos 10 años, la retrasada adecuación infraestructural de sistemas de transporte existente, la planeación superflua de rutas de transporte público, el crecimiento del parque automotor privado, el flujo de buses intermunicipales e interdepartamentales sin control dentro de la ciudad y la necesidad inmediata de solución, son los principales inconvenientes que han hecho que el sistema Transmilenio, implementado desde el año 1999 no cumpla con las condiciones suficientes para dar abasto a la demanda y requiera sistemas auxiliares que mitiguen la falta de capacidad de movilización de pasajeros diarios en lugares específicos de la ciudad⁴.

¹LOGISTICAMX.ENFASIS.COM. La importancia de la gestión del talento en la empresa. [En línea]. México. Disponible en internet: <<http://www.marketing-consulting.es/la-importancia-de-la-gestion-del-talento-en-la-empresa>>

² DUARTE FORERO, Edgar Leonardo. El Transporte Público Colectivo en Bogotá, D.C.: Una Mirada desde la Dinámica de Sistemas. 2011. Vol. 16, no. 2, p. 18–34.

³CAMARA DE COMERCIO. La competitividad de Bogotá en el marco del POT. 2017.

⁴ DÍAZ ACOSTA, Javier y ESPITIA PEÑA, Gladys. Lineamientos para la mejora del sistema de gestión de la calidad en entidades responsables de la movilidad en el Distrito Capital *. 2015. Vol. 7, p. 41–62.

La ciudad de Bogotá ha tenido un crecimiento poblacional de 1700% en los últimos 70 años⁵, incorporando poblaciones cercanas al casco urbano tales como Bosa, Engativá, Fontibón y Suba, las cuales, hoy en día son las localidades con mayor población junto con las localidades de Kennedy, Ciudad Bolívar y Tunjuelito.

Estas comparten varios corredores viales, teniendo como principal eje de dispersión la Avenida Boyacá, la cual, atraviesa la ciudad longitudinalmente y permite transportarse de sur a norte y viceversa, atravesando las 13 zonas operacionales. Esta vía no cuenta con una troncal de Transmilenio o un modo masivo organizado de transporte público, a pesar de ser un objeto de estudio para la implementación de este sistema desde el año 1998, teniendo estudios presentes hasta el año 2017, ni proyecto de sistema de tren metropolitano, por lo cual existen aproximadamente 65 de 249 rutas urbanas del sistema de transporte que en algún punto tienen paso por esta vía según reportes en las páginas oficiales del SITP⁶.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se hace necesario realizar un estudio de movilidad en esta avenida, principalmente en el tramo comprendido entre la avenida Las Américas y la Avenida Calle 127 para conocer e identificar los principales factores que intervienen en el sistema de transporte mediante un modelo matemático que facilite la movilización de los usuarios en este corredor vial.

⁵HERNÁNDEZ BONIVENTO, José Andrés. Diseño institucional y descentralización territorial en Bogotá, Distrito Capital. 2017. P. 121–144.

⁶ SITP. Mapas. [En línea]. 2012. Disponible en: <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/40076/mapas_del_sitp/>

1. GENERALIDADES

1.1.ANTECEDENTES

De acuerdo con el contenido relacionado en este estudio, se dividieron en dos temas principales los antecedentes para visualizar el contenido de manera organizada. El primer tema son los antecedentes relacionados con el transporte público en la ciudad de Bogotá y el segundo indica los estudios realizados en Dinámica de sistemas con respecto al transporte masivo.

1.1.1. Antecedentes relacionados con el transporte público en la ciudad de Bogotá. El Sistema Integrado de transporte Público (SITP) propuesto desde el año 2006 e implementado parcialmente en el año 2012, busca la unificación, modernización y reducción de empresas prestadoras del servicio. El sistema está dividido en distintos sistemas (troncales, alimentadores, urbanos, complementarios, especiales) teniendo una cobertura total de aproximadamente de 516 rutas según la página oficial del SITP (Véase Figura 1). Este sistema continua en etapa de adaptación y modernización de vehículos y rutas no integradas llamadas provisionales.⁷

Figura 1. Zonas operacionales de la ciudad de Bogotá para el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP)



Fuente. SITP. Zonas SITP [En línea]. Bogotá: SITP. [Citado el 19 de agosto del 2019]. Disponible en Internet: <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/40076/mapas_del_sitp/>

⁷ ASPILLA LARA, Yefer y REY GUTIÉRREZ, Eladio. La implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá y sus retos en el futuro. Revista Tecnogestión [En línea]. 2012. Vol. 9, no. 1, p. 26-40. Disponible en internet: <https://www.researchgate.net/publication/310514617_La_implementacion_del_Sistema_Integrado_de_Transporte_Publico_SITP_de_Bogota_y_sus_retos_en_el_futuro_The_Implementation_of_Integrated_Public_Transport_System_SITP_of_Bogota_and_its_Challenges_in_the_>

La mayoría de las rutas urbanas implementadas en el Sistema Integrado de Transporte Público estuvieron basadas en las rutas existentes antes del año 2006, En las cuales no se realizaron estudios y diseños de rutas logísticas y en algunos casos se vuelven obsoletas y repetitivas, teniendo un control superfluo en los tiempos de operación y altas demandas de pasajeros.

1.1.2. Estudios realizados en Dinámica de sistemas con respecto al transporte masivo. Existen varios trabajos relacionados con la dinámica de sistemas en el transporte de pasajeros en distintos medios de transporte, tales como:

El trabajo “Modelación de la operación nacional e internacional de tráfico aéreo de pasajeros en el aeropuerto el dorado empleando dinámica de sistemas” en donde la autora estudia y analiza los factores influyentes en la logística del aeropuerto El Dorado, mediante una metodología de carácter mixto con dinámica de sistemas para establecer los parámetros, realizar un diagnóstico y tomar medidas correctivas en los puntos de incumplimiento mediante la simulación propuesta del sistema. Al observar el uso de la dinámica de sistemas en el sector del transporte, este trabajo es una fuente adecuada para la obtención de información preliminar⁸.

La tesis denominada “Modelo de implementación de TIC en el sector transporte de la ciudad de Barranquilla utilizando dinámica de sistemas”, identifica los factores que influyen en el transporte público de dicha ciudad por medio de herramientas como diagramas causales o de Forrester, propios de la dinámica de sistemas para la generación de un modelo de gestión, el cual solucionaría las problemáticas actuales recopiladas durante la investigación y analiza la información en el trabajo mencionado. El aporte realizado para el presente trabajo es la introducción y comparación de un trabajo con similitud de herramientas realizado en Colombia⁹.

En el documento “Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A.” los autores describen las pautas de formato para los procedimientos que la Asociación Colombiana de Dinámica de Sistemas presentó en el 9° Encuentro Colombiano de Dinámica

⁸ ALFONSO AGREDO, Karent Tatiana. Modelación de la operación nacional e internacional de tráfico aéreo de pasajeros en el aeropuerto el dorado empleando dinámica de sistemas. [En línea]. Bogotá. 2018. [Citado 22 de agosto de 2019]. Vol. 15, no. 2, p. 2017–2019. Disponible en internet: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1101&context=ing_industrial>

⁹ MERCADO POLO, Darwin Ramiro, SEPÚLVEDA OJEDA, Jorge Antonio, PEDRAZA CABALLERO, Luis Eduardo y HERNÁNDEZ PALMA, Hugo G. Modelo de implementación de tic en el sector transporte de la ciudad de Barranquilla utilizando dinámica de sistemas. Dimensión Empresarial. 2015. Vol. 12, no. 1, p. 36. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4738562>>

de Sistemas, en el cual se exponen las discrepancias en el sistema con respecto a oferta y demanda del sistema¹⁰.

“Aproximación al desarrollo de un sistema de transporte masivo a través de la dinámica de sistemas” busca, mediante la dinámica de sistemas, describir el desarrollo de un sistema de transporte masivo, definiendo los parámetros operativos que deben tener los sistemas de Rapid Transit Bus existentes en el país y en el desarrollo e incremento de su demanda. Estos autores plantean tres escenarios para evaluar las políticas operativas y de reinversión en el sistema, analizando el comportamiento en su desarrollo¹¹

El documento “Modelamiento del sistema de transporte de la flota alimentadora del portal de la 80 en Transmilenio S.A.”, analiza el comportamiento en las flotas alimentadoras del Portal 80, teniendo una metodología similar a la que se realiza en este estudio, enfocándose en el tiempo de espera de los usuarios, siendo este el principal factor a estudiar, en donde se puede hacer una revisión en propuesta de estrategias y toma de decisiones¹².

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Planteamiento del problema. De acuerdo con el Observatorio de Movilidad del año 2017 para Bogotá y los datos registrados en el Centro de Gestión de Tránsito (CGT), el tiempo de movilización promedio de los usuarios se incrementa debido a la baja velocidad promedio de algunas de las avenidas principales de la ciudad¹³. Estos tiempos de movilización de los usuarios en el Sistema integrado de Transporte Público, no se encuentra estandarizado debido a que en la mayor parte de los estudios realizados para los vehículos que hacen parte de este, los tiempos de recorrido se enfocan principalmente en tramos y rutas específicos para el subsistema troncal.

¹⁰ MOSCOSO G., July, PERDOMO P., Lady J., PERDOMO M., Mileidy y MAYORGA T., Oscar. Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A. La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento. 2011. P. 5 [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <https://www.urosario.edu.co/urosario_files/d7/d7a4cd70-169b-4124-9393-62e4914201dc.pdf>

¹¹ OROZCO, Juan Sebastián y ARENAS, Fernando Antonio. Aproximación al desarrollo de un sistema de transporte masivo a través de la dinámica de sistemas. Sistemas & Telemática [online]. 2013. Vol. 11, p. 91–106. [Citado 22 de agosto de 2019]

¹² CALDERÓN AYALA, Stefanny y Porras Almanza, Ivonne Andrea. Modelamiento del sistema de transporte de la flota alimentadora del portal de la 80 en Transmilenio s.a., empleando dinámica de sistemas. 2013, [En línea]. Disponible en internet: <<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9396/Proyecto%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

¹³ SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Observatorio de movilidad. 2017. [Citado 20 de octubre de 2019]. Bogotá. Disponible en internet: <<http://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/documentos/observatorio-de-movilidad/>>

En la ciudad de Bogotá el trazado vial está propuesto con calles y carreras que atraviesan la ciudad de un extremo a otro, por lo cual las troncales de Transmilenio han sido una solución de gran importancia para la movilidad, no obstante, la deficiencia en la adecuación de la infraestructura en zonas occidentales de la ciudad ha hecho que vías como la avenida carrera 68, la avenida Boyacá y la avenida Ciudad de Cali se vean colapsadas por exceso en rutas de transporte público repetitivas, tránsito de buses intermunicipales y alta demanda de automotor privado¹⁴.

Se han implementado medidas de solución a corto plazo como “el pico y placa” modificadas y aún en existencia desde el año 1998, que en un principio facilitó la movilidad de en la ciudad mientras se realizaba la implementación infraestructural del sistema Transmilenio, sin embargo, la dilatación de la implementación de sistemas adecuados para el crecimiento poblacional y económico como sistemas de tren metropolitano que datan de estudios técnicos de la década de 1970´s.

La deficiencia en la ejecución de integración de transporte de buses urbanos, que generan un condicionamiento en los recursos del usuario, y no una optimización de estos, indican la necesidad de un estudio adecuado generalizado del sistema de transporte en la ciudad de Bogotá¹⁵.

En promedio, las personas que se movilizan en la ciudad de Bogotá utilizan de 2 a 2,5 horas al día transporte público en ir de sus casas a sus lugares de trabajo en un trayecto de ida y vuelta¹⁶, lo cual indica una baja productividad en el transporte público en comparación de ciudades como Hong Kong y en el sector de Latinoamérica Santiago de Chile, el promedio por trayecto es de 30 minutos, observándose que hay un exceso de más del doble del tiempo en la ciudad de Bogotá.

Teniendo en cuenta que esta tiene una longitud de 33 km de norte a sur y 16 km de oriente a occidente, y que la velocidad de transporte de la ciudad de Bogotá es en algunas vías puede llegar a ser tan baja generando datos de 7 km/h. En estados unidos el máximo de velocidad va de 60 a 85 MPH (de 90 a 130 km/h), en la ciudad de Bogotá se generó una restricción de velocidad

¹⁴ DÍAZ ACOSTA, Javier y ESPITIA PEÑA, Gladys. Lineamientos para la mejora del sistema de gestión de la calidad en entidades responsables de la movilidad en el Distrito Capital *. 2015. Vol. 7, p. 41–62.

¹⁵ CABRERA, Martha Lucia y GUERRERO, Johanna. Evaluación de la efectividad de la medida del pico y placa en Bogotá D.C. [En línea]. 2005. P. 23–24. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7006/tesis111.pdf?sequence=1>>

¹⁶ EL TIEMPO. Bogotanos pasan veinte días al año en bus. El Tiempo [online]. 2016. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://www.eltiempo.com/bogota/bogotanos-pasan-veinte-dias-al-ano-en-bus-34028>>

máxima de 50 km/h en el año 2019 en los principales corredores por exceso de accidentes automovilísticos por la infraestructura existente¹⁷.

1.2.2. Formulación del problema. Al realizar una observación teniendo en cuenta factores como semaforización, automotor de carga y de pasajeros intermunicipales, exceso de compra de vehículos particulares, aumento de vivienda inmobiliaria en sus alrededores y rutas duplicadas se quiere proponer mediante el estudio de dinámica de sistemas el modelo más eficiente de operación logística del tráfico de pasajeros de transporte público en la avenida Boyacá, identificando posibles soluciones ya existentes en otros corredores como funcionamiento de sistemas híbridos como el de la troncal en la avenida carrera séptima. De esta manera se realiza la formulación del problema realizando la siguiente pregunta:

¿Es posible modelar el comportamiento de la movilidad del sistema de transporte público de la Avenida Boyacá entre la avenida Las Américas y la Avenida Calle 127 mediante la metodología de Dinámica de Sistemas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General. Desarrollar el modelado del tráfico de transporte público en la avenida Boyacá en el tramo comprendido entre la Avenida de las Américas y la Avenida Calle 127 en la ciudad de Bogotá, a partir de Dinámica de Sistemas determinando los indicadores de movilidad como herramientas de decisión para posibles estrategias de mejora.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Identificar los elementos que componen el sistema de movilidad en el tramo estudiado mediante la recopilación de información proveniente de fuentes oficiales y la recolección de datos para la caracterización de factores críticos.
- Diagnosticar los elementos que interactúan en el sistema de movilidad de transporte público actual en el tramo seleccionado por medio de diagramas causales visualizando como se interconectan entre sí.
- Establecer los indicadores del flujo de movilidad con respecto al objetivo anterior, generando la construcción de un modelo matemático para la realización de la simulación del sistema propuesto.
- Modelar el sistema del comportamiento del tráfico de transporte público en el tramo seleccionado, simulando el sistema para realizar el análisis de

¹⁷ LA OPINIÓN. Conoce los límites de velocidad en Estados Unidos. [online]. 2017. [Citado 25 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://laopinion.com/2017/06/29/conoce-los-limites-de-velocidad-en-estados-unidos/>>

sensibilidad, permitiendo la toma de decisiones relacionadas con el objetivo anterior.

1.4.JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la población de Bogotá en los últimos años ha desencadenado diferentes problemáticas, una de estas ha sido la movilidad de los ciudadanos, por lo cual se han generado problemas de infraestructura del transporte y la falta de mallas viales¹⁸, la oferta de los servicios de transporte no cumple con las necesidades con las que cuenta la ciudad, ya que el servicio de rutas y operación es inadecuada, los ciudadanos son los principales afectados el tener mayores tiempos de viaje e inseguridad en los sistemas de transporte¹⁹.

Por otra parte las empresas de transporte masivo, se han centrado en la organización táctica, operativa, dejando de lado la creación de planes estratégicos y una visión prospectiva que logre mejorar el sistema de transporte²⁰, por esta razón es primordial implementar metodologías y tecnologías que estén a la vanguardia que permitan mejorar la movilidad en la ciudad²¹, por tal motivo, la dinámica de sistemas es una herramienta de modelamiento que permite describir las características y de esta manera identificar las posibles decisiones, esta metodología permite elaborar un modelo de simulación para un sistema ,identificando las variables y factores que afectan el sistema ,con el objetivo de construir y evaluar comportamiento²².

Utilizar la dinámica de sistemas, con el propósito de evaluar Transmilenio, fue satisfactorio²³, ya que, a partir del modelo, se logró entender y analizar los

¹⁸ DUARTE FORERO, Edgar Leonardo. El Transporte Público Colectivo en Bogotá, D.C.: Una Mirada desde la Dinámica de Sistemas. 2011. Vol. 16, no. 2, p. 18–34.

¹⁹ Ardila Gómez, Arturo. La olla a presión del transporte público en Bogotá. rev.ing. [online]. 2005. Available from :< <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932005000100006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0121-4993

²⁰ PALAU, Javier Jolonch. Análisis del transporte masivo y la movilidad en Bogotá. Universidad & Empresa, 2013, vol. 15, no 24, p. 15-23.

²¹ MARTÍN, J. La toma de decisiones empresariales en un mundo complejo. La Teoría General de Sistemas. [En línea]. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://psicolibro.wordpress.com/2008/08/18/sysware-la-toma-de-decisiones-empresariales-en-un-mundo-complejo/>>

²² CHÁVEZ GUILLÉN, Ronaldo M. Dinámica de sistemas [online]. 2010. [En línea]. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.educaunica.galeon.com/cursos/silabo_diapositiva/Causal.pdf>

²³ MOSCOSO G., July, PERDOMO P., Lady J., PERDOMO M., Mileidy y MAYORGA T., Oscar. Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A. La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento. 2011. P. 5 [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <https://www.urosario.edu.co/urosario_files/d7/d7a4cd70-169b-4124-9393-62e4914201dc.pdf>

actores principales y las variables que intervenían en el sistema. De igual manera, diversos autores utilizaron un modelo de dinámica de sistemas para la implementación de TIC en el sector transporte, en el cual se identificaron las características del sistema, con el objetivo de determinar los factores y las estructuras que conforman el comportamiento organizacional y los procesos de gestión de producción de servicios²⁴.

Por lo anterior, se decide realizar la modelación de propuesta para la operación logística del tráfico de pasajeros de transporte público en la avenida Boyacá en el tramo propuesto de la ciudad de Bogotá mediante dinámica de sistemas, con la necesidad de lograr establecer los factores y las características del sistema que intervienen en estas dos avenidas, con el propósito de proponer un modelo que permita descongestionar las vías y minimizar los trayectos.

1.5.DELIMITACION

1.5.1.Espacio. La investigación se desarrolla en un tramo de la Avenida Boyacá, comprendido entre la avenida Américas y la calle 127 de la ciudad de Bogotá, Colombia. Cabe aclarar que esta avenida conecta la ciudad de sur a norte y es un tramo intermedio existente en esta avenida.

1.5.2.Tiempo. La investigación se desarrollará durante un tiempo estimado de seis (6) meses.

1.5.3.Contenido. Se documenta información sobre el estado actual de las características principales generales y logísticas de la avenida Boyacá, teniendo en cuenta información para realizar el estudio. Luego se realizará el respectivo análisis mediante la recopilación de la información para generar un modelo de operación de tráfico logístico mediante dinámica de sistemas.

1.5.4.Alcance. El estudio se realizará en la ciudad de Bogotá, inicialmente se recopilará información de caracterización técnica y logística de la avenida Boyacá en los tramos establecidos anteriormente, luego se realizará un reconocimiento visual, identificando las zonas críticas de tráfico. Por consiguiente, se evaluará el actual funcionamiento y se realizará una propuesta de modelo operacional.

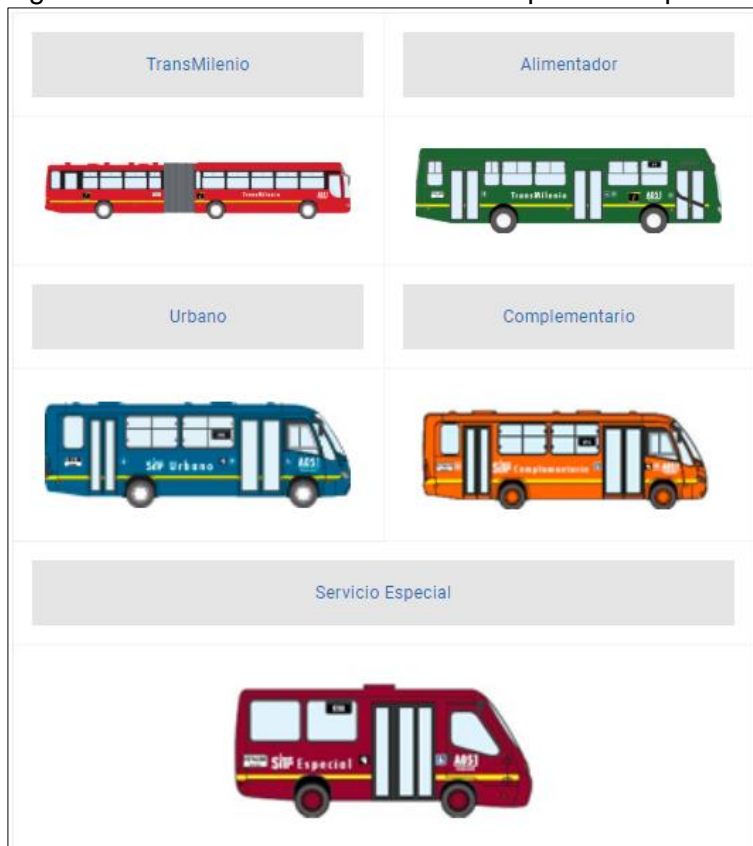
²⁴ MERCADO POLO, Darwin Ramiro, SEPÚLVEDA OJEDA, Jorge Antonio, PEDRAZA CABALLERO, Luis Eduardo y HERNÁNDEZ PALMA, Hugo G. Modelo de implementación de TIC en el sector transporte de la ciudad de Barranquilla utilizando dinámica de sistemas. Dimensión Empresarial. 2015. Vol. 12, no. 1, p. 36. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4738562>>.

1.6.MARCO DE REFERENCIA

1.6.1.Marco teórico.

1.6.1.1.Transporte público en Bogotá. El Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de la ciudad de Bogotá ha sido una de las soluciones a corto plazo para reducir la sobreoferta, sin embargo, la compra de flota ha sido insuficiente ante los problemas de capacidad de transporte de pasajeros a pesar de la interacción de todos los modos de transporte público a disposición para la movilidad, buscando la interconexión a una red de forma articulada y organizada con una tarifa integrada con único medio de pago²⁵.

Figura 2. Modelo de vehículos servicios prestados por SITP



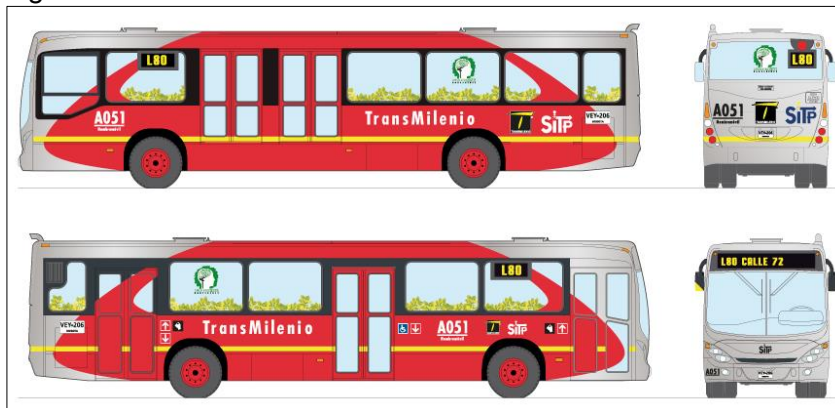
Fuente. Tomado de SITP. Zonas SITP. [Online]. Bogotá: SITP. [Citado el 19 de agosto del 2019]. Disponible en: <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/40076/mapas_del_sitp/>

²⁵ASPILLA LARA, Yefer and REY GUTIÉRREZ, Eladio. La implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá y sus retos en el futuro. Revista Tecno gestión. 2012. Vol. 9, no. 1, p. 26–40.

Este SITP cuenta hoy en día con 6 subsistemas de buses de las cuales 2 se clasifican en sistemas troncales (Alimentador y troncal), 3 en sistemas urbanos a través de la ciudad (Urbano, Complementario y especial) y 1 (provisionales) que aún no se han adecuado a las necesidades y que siguen con pago por medio de efectivo y no con uso de las tarjetas inteligentes.

Cabe destacar que en sistema troncal existe un corredor que funciona de manera mixta desde el año 2014, es decir es sistema troncal desde estación museo del oro interconectándose con los portales del dorado, portal del 20 de julio e incluso el portal norte, desde la estación museo del oro hasta la estación urbana Hacienda Santa Bárbara opera de manera similar a como lo hacen los sistemas urbanos, complementarios y especiales²⁶. Esto lo hacen por medio de buses híbridos como se puede observar en la Figura 2 y Figura 3, los cuales tienen un ahorro de combustible que llega hasta el 40 % con respecto a los buses que solo utilizan diésel, estos buses cuentan con puertas en ambos costados adecuadas para los pasajeros en estaciones de Transmilenio y en estaciones urbanas²⁷.

Figura 3. Modelo bus dual híbrido sistema Transmilenio



Fuente. SITP. Zonas SITP. [Online]. Bogotá: SITP. [Citado el 19 de agosto del 2019]. Disponible en: < https://www.sitp.gov.co/publicaciones/40076/mapas_del_sitp/>

En el decreto 190 de 2004 se establecieron las troncales a realizar para la interconexión del sistema de transporte masivo en la ciudad de Bogotá²⁸, sin embargo, el principal problema del sistema actual de transporte público es la mala planificación, teniendo en cuenta elementos como demora y retraso en la construcción y concesión de los proyectos, además de los atrasos por

²⁶ CUBAQUE PORRAS, Lorenzo Duban y VELANDIA MEDINA, Jairo Alfonso. Análisis preliminar de implementación de la red ferroviaria existente al sistema integrado de transporte público (SITP) para Bogotá. presentado. 2018. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://repository.ucatolica.edu.co/jspui/handle/10983/16349>>

²⁷ GRÜTTER, Jürg. Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos. 2015. P. 39. Rendimiento ambiental y económico de buses híbridos y eléctricos basados en grandes flotas operacionales

²⁸ ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. DECRETO 190 DE 2004. 2004.

estudios por factores políticos. La limitación del sistema frente a la capacidad de pasajeros prevista con respecto a los tiempos establecidos ha cambiado desde el año de la expedición del decreto mencionado, teniendo una demora de 15 años en la adjudicación de algunas troncales, entre estas la propuesta para la avenida Boyacá.²⁹ .

Asimismo, en la ciudad de Bogotá se tiene propuesto la realización e implementación de sistemas férreos como alternativa al transporte público como un sistema de tren metropolitano que fue adjudicado el 17 de octubre de 2019³⁰. Después de más de 60 años desde que se conceptualizó la idea de la construcción del metro, el consorcio conformado por las empresas chinas China Harbour Engineering Company Limited y Xi'An Rail Transportation Group Company Limited. fue escogido para la realización de la infraestructura y operación por 20 años.

Figura 4 Modelado 3D estación Regiotram.



Fuente. EL TIEMPO. Gobernación será la que defina costo del pasaje del Regiotram. [Online]. Bogotá. [Citado el 21 de febrero del 2020]. Disponible en: <<https://www.eltiempo.com/bogota/gobernacion-sera-la-que-defina-costo-del-pasaje-del-regiotram-279358>>

²⁹ ANZOLA PARRA, Diego Felipe. Análisis de la cobertura del sistema de transporte masivo en la ciudad de Bogotá. 2017.

³⁰ EL TIEMPO. Bogotá ya tiene quien construya y opere la primera línea del metro. [En línea]. Bogotá. 2019. [Citado 19 de febrero de 2020]. Disponible en internet: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1101&context=ing_industrial>

Asimismo, otro sistema férreo que se busca ejecutar en el casco urbano de la ciudad es el tren de cercanías, proyecto llamado Regiotram de occidente junto con la Gobernación de Cundinamarca a la empresa China Civil Engineering Construction Corporation adjudicado el 24 de diciembre del 2019³¹ , el cual conectará municipios como Facatativá, Funza, Mosquera y Madrid, Cundinamarca.

Figura 5 Sistema Transmicable en la ciudad de Bogotá



Fuente. COLOMBIA.COM. TransMiCable: todo lo que no sabías de este nuevo servicio de transporte en Bogotá. [Online]. Bogotá. [Citado el 21 de febrero del 2020]. Disponible en: <https://www.colombia.com/actualidad/nacionales/transmicable-todo-lo-que-no-sabias-de-este-nuevo-servicio-de-transporte-en-bogota-214852>

Además de los medios de transporte citados anteriormente, El sistema de transporte público Transmicable, implementado en la ciudad de Bogotá es un teleférico de cable aéreo que consta de cabinas suspendidas, con una serie de estaciones y que se utiliza para el transporte en casos en los que existe grandes diferencias de altitud con dificultad de conectar a través de medios de transporte tradicional³². Este sistema tiene una línea operando desde el

³¹ MINISTERIO DE TRANSPORTE. Gobierno nacional celebra la adjudicación de Regiotram de occidente. [En línea]. Bogotá. 2019. [Citado 19 de febrero de 2020]. Disponible en internet: <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8030/gobierno-nacional-celebra-la-adjudicacion-del-regiotram-de-occidente/>

³² ARMIJOS CURIPOMA, Marlon Santiago y RAMIREZ MORENO, Raúl Orlando. Diseño de un teleférico turístico de 2000 metros de longitud ubicado en la colonia Los Llaganates de la parroquia Rio Negro, Cantón baño, Provincia de Tungurahua. [En línea]. Bogotá. 2009. [Citado 21 de febrero de 2020]. Disponible en internet: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1622/1/CD-2282.pdf>

29 de diciembre de 2019, en la cual se ha revisado un ahorro de tiempo en trayectos que duran aproximadamente una hora en las horas pico a 13 minutos.³³

1.6.1.2. Gestión del transporte público. La logística se puede definir como “La ciencia que estudia como las mercancías, las personas o la información superan el tiempo y la distancia de forma eficiente”³⁴ por lo cual es pieza clave en el estudio del transporte público en una ciudad, al ser la que ordena de manera clara y precisa los flujos de materiales, personas o información, mejorando las condiciones de recursos tangibles e intangibles de una empresa o sociedad.

De tal forma la gestión del transporte surge como necesidad de análisis en los costos y la apreciación de los clientes de acuerdo con el servicio prestado, teniendo en cuenta factores como servicio, frecuencia y eficiencia³⁵. La gestión del transporte enfocado en la movilización de pasajeros debe tener en cuenta factores como indicadores de desempeño³⁶, los cuales en Colombia son regulados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), e internamente por los operadores de transporte público, control en la operación de rutas, estudios de Benchmarking y sistemas de información adecuados para el manejo del transporte, entre otros.

La gestión del transporte propone ejecutar un plan de acuerdo con la definición los objetivos estratégicos teniendo en cuenta dimensiones estratégicas como tecnología, infraestructura, velocidad, optimización, cultura logística y del servicio, entre otros. Estos objetivos se deben definir de acuerdo con los 4 principios de la logística que son productividad, eficiencia, cumplimiento y seguridad, los cuales son denominados los 4 pilares de la gestión del transporte terrestre y direccionan las operaciones realizadas³⁷.

De esta manera, la gestión del transporte público busca que el sistema estudiado cumpla con condiciones mínimas de calidad, accesibilidad, competitividad y operatividad, teniendo en cuenta elementos como el plan maestro de movilidad y además tener indicadores adecuados que se puedan

³³ TRANSMILENIO. Abecé de TransMiCable. [En línea]. Bogotá. [Citado 21 de febrero de 2020]. Disponible en internet: <<https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/151067/abece-de-transmicable/>>

³⁴ ALFONSO AGREDO, Karent Tatiana. Modelación de la operación nacional e internacional de tráfico aéreo de pasajeros en el aeropuerto el dorado empleando dinámica de sistemas. [En línea]. Bogotá. 2018. [Citado 22 de agosto de 2019]. Vol. 15, no. 2, p. 2017–2019. Disponible en internet: <eltiempo.com/bogota/todo-sobre-la-adjudicacion-de-la-primera-linea-del-metro-de-bogota-424294>

³⁵ Molina, Martín. An Intelligent Assistant for Public Transport Management. [En línea]. 2005. Bogotá. [Citado 21 de abril de 2020]. Disponible en internet: <<http://oa.upm.es/14202/1/preprint.pdf>>

³⁶ ARIMANY, Luis. La Gestión del tiempo. [online]. 2017. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.luisarimany.com/la-gestion-del-tiempo/>>

³⁷ SERRANO, Rodrigo. Los 4 pilares de la Gestión de Transporte Terrestre _ Wisetrack Corp. [En línea]. 2018. Disponible en: <http://www.wisetrackcorp.com/pilares-de-la-gestion-de-flotas/>

comparar con otros modos y sistemas de transporte urbano, de tal forma que sea posible implementar soluciones ya existentes en problemas relacionados³⁸.

Figura 6 Pilares del transporte



Fuente. El Autor

1.6.1.3. Dinámica de sistemas. La dinámica industrial y las herramientas computacionales son la base en los modelos matemáticos que se construyen y se retroalimentan para dar una decisión explícita o implícita y que puede tener impacto ya sea correctivo de los errores existentes en un sistema interconectado.

Se debe tener clara la interacción de los términos dinámica y sistema para iniciar una investigación objetiva al respecto, dinámica se define como el carácter cambiante, opuesto a la estática y sistema se define como una unidad compuesta por elementos que interactúan entre sí para cumplir un objetivo. De acuerdo con esto, la dinámica de sistemas es una metodología con distintas variables coligadas a los elementos que la componen que se modifican a través del tiempo y que interactúan entre sí³⁹.

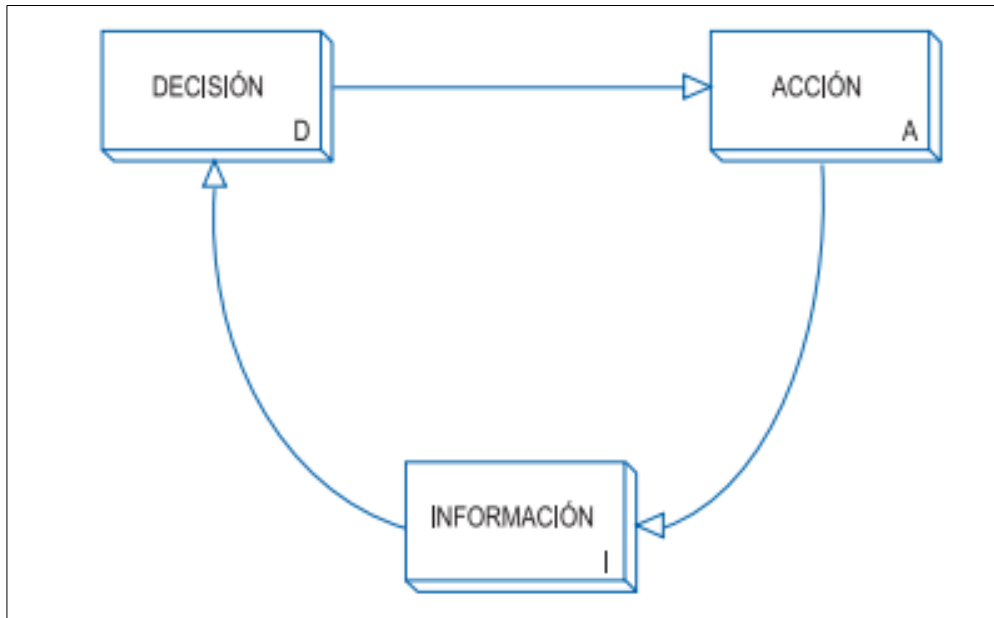
³⁸ CHALOUPKA, Erika. La gestión del transporte público urbano de pasajeros en la ciudad de Rosario a partir del diseño e implementación del Plan Integral de Movilidad. [En línea]. Bogotá. [Citado 27 de febrero de 2020]. 2015. Disponible en internet: <<https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/5624/TESINA%20Erika%20Chaloupka.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>

³⁸ ARIMANY, Luis. La Gestión del tiempo. [En línea]. 2017. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.luisarimany.com/la-gestion-del-tiempo/>>

³⁹ Arancil, Javier. DINÁMICA DE SISTEMAS. 1995.

Al ser una metodología sistémica, se deben tener en cuenta las diferentes etapas, esta surgió como necesidad a los retrasos en la transmisión de la información en los años 50's por el ingeniero Jay W. Forrester⁴⁰, Este sistema se basa en la generación de un diagrama causal, generado por la recolección de la información del sistema, luego la etapa de procesamiento de la información, en la cual se analiza el comportamiento de los componentes o variables del sistema para la toma de decisiones de acuerdo con la retroalimentación constante de la información mediante bucles de información. Esto se puede observar en la figura 7, la cual expone las etapas y el ciclo que llega a tener interacciones infinitas, del cual se construye un modelo.

Figura 7. Estructura de retroalimentación negativa en el proceso básico de toma de decisión.

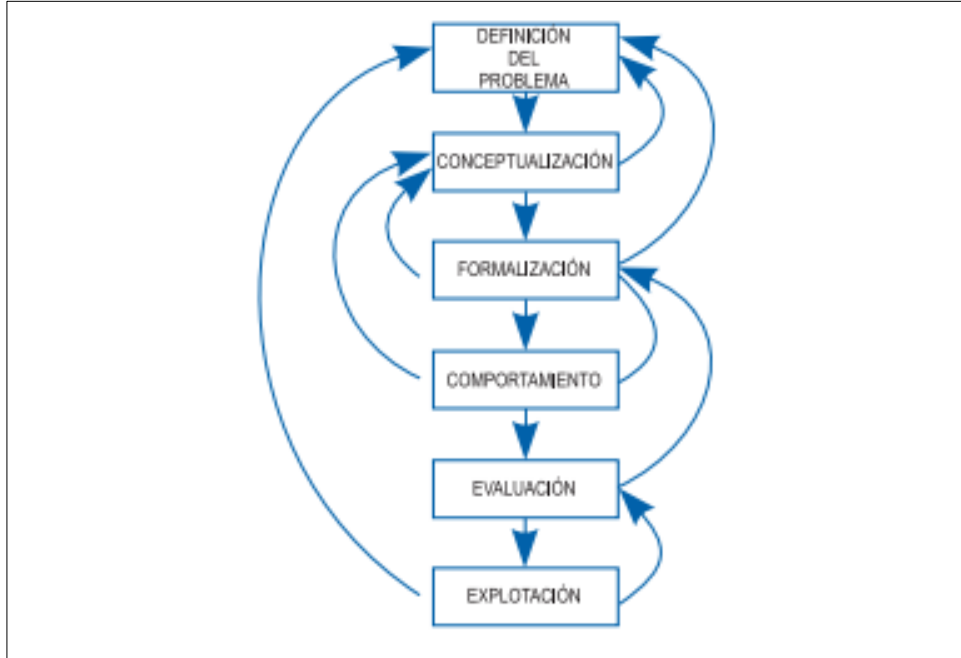


Fuente. Arancil, J., & Gordillo, F. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Isdefe.p.12.

Las etapas relevantes en la dinámica de sistemas (Véase la Figura 8), se componen básicamente en la definición del problema, la conceptualización del sistema, la formalización del modelo computacional, el comportamiento de este, la evaluación o análisis de sensibilidad y por último la explotación del modelo para revisar el comportamiento y solucionar el problema propuesto. Este modelo por realizar tiene dos tipos de información, cualitativa y cuantitativa, por lo cual, el comportamiento del este debe tener una estructura adecuada y cuidadosa, teniendo en cuenta factores como la sensibilidad del modelo y la precisión de este.

⁴⁰ Da Silva, Carlos. Historia de la dinámica de sistemas. [En línea]. 2012. Disponible en: <<http://dinamicadesistemasudo.blogspot.com/2012/07/historia-de-la-dinamica-de-sistemas.html>>

Figura 8. Etapas relevantes en la dinámica de sistemas



Fuente. Arancil, J., & Gordillo, F. (1995). *Dinámica de sistemas*. Madrid: Isdefe.P.12.

1.6.2.Marco conceptual.

1.6.2.1.Cobertura de transporte público urbano. Este término define el área que se encuentra cubierta o servida por el sistema de transporte público urbano en relación con el área total del aglomerado, para una muestra de ciudades. El indicador permite registrar cambios en el tiempo respecto de la relación entre la ampliación de la red de transporte urbano y el crecimiento de la mancha urbana (nuevas áreas de expansión urbana).

La información es fundamental para la definición de políticas de planificación urbana que pueda mejorar las condiciones de accesibilidad del territorio, especialmente en la localización de nuevo tejido urbano. También contribuye a entender los impactos de las nuevas formas de asentamientos urbanos sobre la movilidad (extensión de la red, costos y tiempos de desplazamiento, costos ambientales, etc.)⁴¹.

1.6.2.2.Dinámica de sistemas. La Dinámica de Sistemas es una herramienta de construcción de modelos de simulación, aplicadas para el estudio de sistemas. El sistema analizado se realiza con base a los datos históricos de las variables denominadas independientes, y se aplica la estadística para determinar los parámetros del sistema de ecuaciones que

⁴¹ ATLAS ID. Cobertura de transporte público urbano. [online]. Available from: <https://atlasid.planificacion.gob.ar/indicador.aspx?id=97>

las relacionan con las otras denominadas dependientes. Estas técnicas pretenden determinar el comportamiento del sistema sin entrar en el conocimiento de sus mecanismos internos⁴².

El objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es llegar a comprender las causas estructurales que provocan el comportamiento del sistema. Esto implica aumentar el conocimiento sobre el papel de cada elemento del sistema, y ver como diferentes acciones, efectuadas sobre partes del sistema, acentúan o atenúan las tendencias de comportamiento implícitas en el mismo⁴³.

Así pues, la Dinámica de Sistemas permite la construcción de modelos tras un análisis cuidadoso de los elementos del sistema. Esta metodología permite Identificar el problema, desarrollar hipótesis dinámicas que explican las causas del problema, construir un modelo de simulación del sistema que permita analizar la raíz del problema, verificar que el modelo reproduce de forma satisfactoria el comportamiento observado en la realidad y por último probar en el modelo las diferentes alternativas o políticas que solucionan el problema e implementar la mejor solución⁴⁴.

1.6.2.3. Gestión del transporte. El transporte es por excelencia uno de los procesos fundamentales de la estrategia logística de una organización, este componente es de atención prioritaria en el diseño y la gestión del sistema logístico de una compañía, dado que suele ser el elemento individual con mayor ponderación en el consolidado de los costos logísticos de la mayoría de las empresas estudiadas.

La gestión del transporte tiene dos tareas imperativas, estas son la elección del medio o los medios de transporte a utilizar y la programación de los movimientos a emplear. Estas casi que ocupan el derrotero de la gestión del transporte, dado que todas las decisiones que tomen deben ajustarse a unas medidas óptimas teniendo en cuenta factores como costos, rapidez en la entrega, eficiencia, seguridad, precisión, modo y servicio al cliente⁴⁵.

⁴² FORRESTER, Jay W. System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. [En línea]. 1994. [Citado 21 de abril de 2020]. Disponible en internet: <<http://static.clexchange.org/ftp/documents/roadmaps/RM7/D-4405-1.pdf>>

⁴³ ZHAO, Junbo. GÓMEZ-EXPÓSITO, Antonio. NETTO, Marcos. MILI, Lamine. ABUR, Ali. TERZIJA, Vladimir. KAMWA, Innocent. PAL, Bikash. KUMAR SINGH, Abhinav, Qi, Junjian. HUANG, Zhenyu. Meliopoulos, P. Sakis. Power System Dynamic State Estimation: Motivations, Definitions, Methodologies and Future Work. N. p., 2019. Web. doi:10.1109/TPWRS.2019.2894769.

⁴⁴ CHAVEZ GUILLÉN, Ronaldo M. Dinámica de sistemas [online]. 2010. Available from: http://www.educaunica.galeon.com/cursos/silabo_diapositiva/Causal.pdf

⁴⁵ LOGISTICAYABASTECIMIENTO.JIMDO.COM. MEDIOS Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE - logística y abastecimiento [online]. Available from: [http37](http://37).

1.6.2.4. Transporte multimodal e intermodal. Los sistemas actuales de transporte en general se basan en dos conceptos de gran relevancia, intermodalidad y multimodalidad, de las cuales se infunden con un mismo principio, pero se diferencian en su funcionalidad. La forma de pago o contrato es la que estipula si se trata de un caso de intermodalidad o multimodalidad. La intermodalidad consiste en el pago independiente de los modos de transporte, cada uno con especificaciones distintas, mientras para la multimodalidad, un solo pago puede abarcar el servicio de varios modos de transporte, dependiendo las características y teniendo un valor máximo a utilizar⁴⁶.

1.6.2.5. Simulación de modelos en sistemas computacionales. Las herramientas computacionales han sido desarrolladas para facilitar, sistematizar y optimizar la información necesaria para la generación de modelos que se asemejen a la realidad, de tal forma que permita conceptualizar, simular y analizar información necesaria para la posible reducción de recursos como capital, insumos, tiempo, entre otros, permitiendo la toma de decisiones de forma estratégica en la implementación de soluciones.⁴⁷

Un modelo de simulación computacional es el resultado de una composición de esquemas escritos en lenguaje de programación que contiene datos de entrada y salida para ejecutar la representación de procesos, estructuras o situaciones que permite realizar un análisis de un sistema con algoritmos e iteraciones para la toma de decisiones⁴⁸.

Los principales programas computacionales utilizados para la realización de modelos de dinámica de sistemas son Vensim, IThink, Stella y Powersim, los cuales tienen funciones como creación de diagramas causales y de flujos, uso de funciones matemáticas complejas, captura de datos, análisis de sensibilidad, entre otras. Estos programas son creados para el modelado, visualización y ejecución de modelos y se componen de tres elementos principalmente, el diagrama de Forrester, que permite visualizar el modelo matemático de manera gráfica, la construcción de fórmulas y análisis de

⁴⁶ CARRASCO, Ana Grisel Maldonado. La multimodalidad en México. Comercio Exterior. 2008. Vol. 58, p. 720–730. <s://logisticayabastecimiento.jimdo.com/distribución-y-transporte/>

⁴⁷ CAPOTE, Jorge A. ABREAU, Orlando V. ALVEAR, Daniel. HERRERA, Guillermo. ABAD, Marta. GUTIERREZ, Ana I. Los Modelos de Simulación Computacional de Incendios: Ciclo de Vida. [En línea]. 2004. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Alvear/publication/242583421_Los_Modelos_de_Simulacion_Computacional_de_Incendios_Ciclo_de_Vida/links/00b7d52de9db02dbf3000000/Los-Modelos-de-Simulacion-Computacional-de-Incendios-Ciclo-de-Vida.pdf

⁴⁸ TAKAHASHI, Yoshikazu. FENVES, Gregory L. Software framework for distributed experimental-computational simulation of structural systems. [En línea]. 2006. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.462.3196&rep=rep1&type=pdf>

interrelación de los factores a estudiar y la exportación de los datos del modelo que permita realizar el análisis mediante iteraciones⁴⁹.

El programa a utilizar para la realización del modelo expuesto en esta tesis será Vensim, pues tiene una interface que facilita la construcción de modelos de todo tipo de complejidad, realización de análisis de sensibilidad de Montecarlo, la cual permite la estimación ante resultado de cálculos sin solución exacta y que como en este caso tienen variabilidad por contar con factores cualitativos⁵⁰.

1.6.3. Marco legal. En el marco legal, la Ley 310 de 1996 (que modifica la Ley 86 de 1989) del Congreso de la Republica, establece las normas en los sistemas de servicio público urbano de transporte masivo de pasajeros y los recursos para su financiamiento. Esta ley expone la prioridad hacia las políticas de los medios de transporte masivo frente a los medios particulares⁵¹.

El decreto 309 de 2009 de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. en el que se contemplan las medidas legales y constitucionales que amparan el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en Bogotá y las disposiciones para su funcionamiento⁵². Este decreto presenta las garantías de la prestación del servicio para los usuarios indicando el funcionamiento de los sistemas Transmilenio y el transporte público colectivo, así como la implementación del sistema de tren metropolitano en la ciudad como sistema multimodal.

1.6.4. Marco histórico. El marco histórico define la evolución que ha tenido sistema de transporte público en la ciudad de Bogotá, desde el año 1879 hasta el 2012. (Véase la Figura 9)

El transporte público en Colombia tiene sus inicios en la década de 1870 con la planeación del tranvía en la ciudad de Bogotá, el cual tenía funcionamiento hipomóvil y este se mantuvo en funcionamiento hasta el año 1948 en donde se destruyó gran parte del sistema y posteriormente en 1951 se decidió cubrir con capa asfáltica teniendo un último recorrido⁵³.

⁴⁹ VARGAS SANCHEZ, Germán Gonzalo. PARRA, VALENCIA, Jorge Andrick. Dinamica de sistemas aplicada a la industria del software en Colombia. 2016. Revista de Tecnología. 14. 10.18270/rt.v14i2.1875.

⁵⁰ KASPERSKA, Elżbieta. KASPERSKI, Andrzej. MATEJA-LOSA, Elwira. Sensitivity analysis and optimization on some models of archetypes using Vensim – theoretical issue. [En línea]. 2013. Disponible en: <https://www.ue.katowice.pl/fileadmin/_migrated/content_uploads/3_E.Kasperska_A.Kasperski_E.Mateja-Losa_Sensitivity_analysis....pdf>

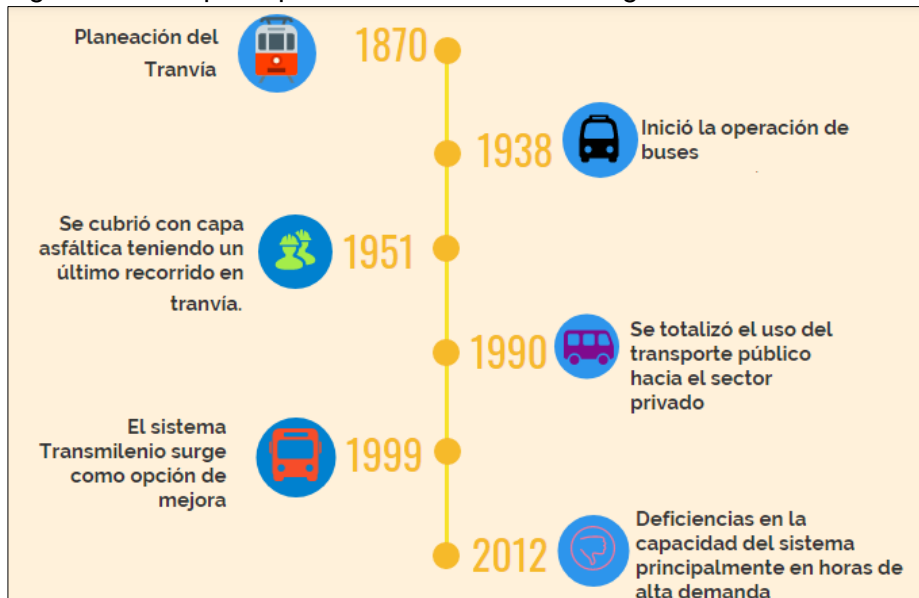
⁵¹ CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Ley 310 de 1996. 1996. Por medio del cual se modifica la Ley 86 de 1989

⁵² ALCALDIA DE BOGOTA. Decreto 309 de 2009.

⁵³ MONTEZUMA, Ricardo. La ciudad del tranvía, 1880-1920. 2008.

Según reportes del Banco de la Republica, en 1939 se inició la operación de buses mediante 37 empresas privadas para el transporte de pasajeros y posteriormente se constituyó la Empresa Distrital de Transporte Urbano (EDTU) que estableció inicialmente 11 rutas incluyendo trolebuses. En los años 90's esta empresa se liquidó, se retiraron las líneas de operación requeridas por los trolebuses y se totalizó el uso del transporte público hacia el sector privado⁵⁴.

Figura 9. Transporte público en la ciudad de Bogotá.



Fuente. El Autor

En el año 1999 el sistema Transmilenio surge como opción de mejora progresiva ante la necesidad de la ciudad de generar una solución a corto plazo con respecto al transporte público y generando unión en el sector privado y público de la ciudad de Bogotá⁵⁵ y es regido por la Ley 310 de 1996⁵⁶. Sin embargo, el crecimiento acelerado de la población y las estimaciones poblacionales propuestas para el sistema no fueron suficientes, lo cual genera hoy en día colapsos incluso en las fases posteriores (2002 a 2009 y 2012 a 2015) y deficiencias en la capacidad del sistema principalmente en horas de alta demanda.

⁵⁴ REPÚBLICA, Banco de la. Exposición: Imagen del ferrocarril en la numismática colombiana. [online]. 2006. [Accessed 5 September 2017]. Available from: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/exhibiciones/ferrocarriles/menu.htm>

⁵⁵ CORREA R, Juan Santiago. Transporte y desarrollo urbano en Colombia: 2017. ISBN 9789588988092.

⁵⁶ CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Ley 310 de 1996. 1996. Por medio del cual se modifica la Ley 86 de 1989

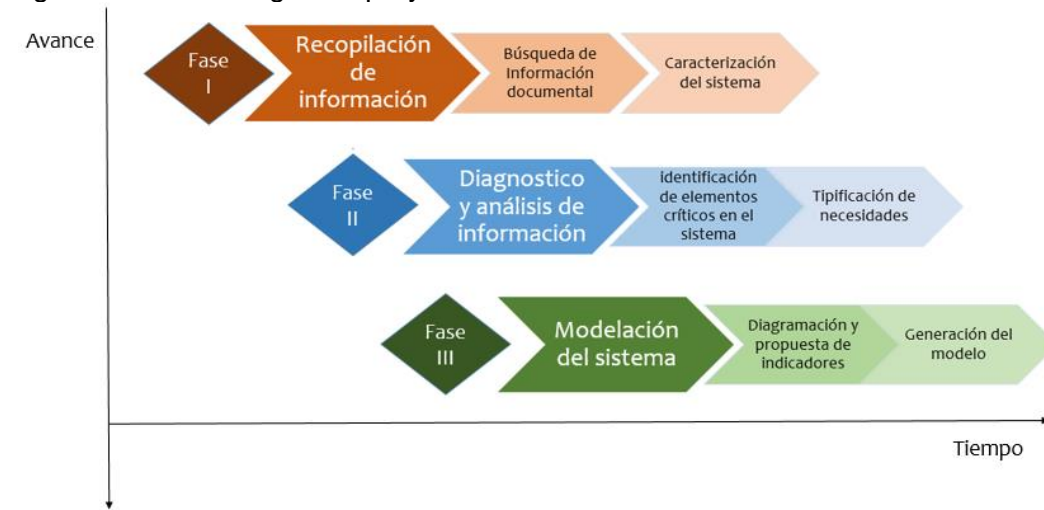
1.7.METODOLOGÍA

1.7.1.Fuentes de información. Este trabajo tiene un carácter descriptivo, por lo cual se hará un análisis de la situación actual del sistema de transporte público a través de fases en las que se realizarán diferentes actividades de carácter mixto, desde la recopilación de información básica, pasando por la etapa diagnóstica del sistema actual, la entrega final del modelo propuesto, y la validación de acuerdo con los objetivos trazados inicialmente.

1.8.DISEÑO METODOLÓGICO

Con el objetivo de realizar la investigación, se diseñaron tres fases, para lograr el desarrollo de los objetivos de la investigación, (Véase la Figura 10).

Figura 10. Metodología del proyecto



Fuente. El Autor

1.8.1.Fase 1. Recopilación de información del sistema. En esta etapa, se recolectará información logística sobre el tramo estudiado, revisando el sistema actual de transporte público de existente en el tramo mediante herramientas operacionales como Google Maps, también se revisarán características de capacidad, tiempo de uso y de vida de los vehículos en funcionamiento de acuerdo con la información del sistema descrita en internet, revisando factores clave como rentabilidad, viabilidad, posibles ventajas y desventajas, generando así una propuesta adecuada para la ciudad de Bogotá.

1.8.2. Fase 2. Diagnóstico y análisis de información. Se realizará una valoración del sistema actual con los datos recolectados en la fase anterior, verificando las necesidades del sistema y proponiendo los indicadores para

realizar el diagrama causal con la información de entrada requerida para la elaboración del modelo.

1.8.3.Fase 3. Modelación del sistema característico. Se realizará un estudio cuantitativo desde el análisis estadístico, generando la simulación de la propuesta mediante herramientas de ingeniería computacionales, en el programa Vensim, revisando modelos de gestión logística y dinámica de sistemas. Finalmente se evaluará el desempeño del modelo matemático propuesto a través de indicadores de gestión y pruebas réplica en el contexto objeto del estudio.

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE MOVILIDAD EN EL TRAMO ESTUDIADO MEDIANTE LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PROVENIENTE DE FUENTES OFICIALES Y LA RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FACTORES CRÍTICOS

En este capítulo se realizará la recopilación de información pertinente para el estudio expuesto, de tal manera se realizará la caracterización de la avenida Boyacá entre la avenida Américas y la avenida Calle 127, se tendrán en cuenta factores como número de carriles, velocidad promedio, cantidad de semáforos, sectores críticos en movilidad en horarios predeterminados. Con base a la caracterización de operación logística se tendrán en cuenta factores internos como capacidad, oferta, demanda, cantidad de buses y factores externos como frecuencia, tiempos de operación, cantidad de rutas y tipo de vehículos que transitan en la avenida Boyacá.

2.1. CARACTERIZACIÓN AVENIDA BOYACA EN EL TRAMO LOCALIZADO ENTRE LA AVENIDA AMERICAS Y LA AVENIDA CALLE 127.

La avenida Boyacá es uno de los corredores viales más importantes de la ciudad de Bogotá, pues atraviesa la ciudad de forma longitudinal en sentido norte a sur, siendo este utilizado por automotores particulares, de transporte público de pasajeros locales e intermunicipales, de carga interna y externa.

2.1.1. Características viales. Esta avenida tiene sus inicios en los años 40⁵⁷, siendo una de las más antiguas y conectando, en ese entonces, municipios colindantes de la ciudad de Bogotá, hoy localidades como Bosa, Fontibón, Engativá y Suba. El tramo estudiado tiene una longitud de 11.4 Km y una distancia neta de 10,98 Km, como se evidencia en la Figura 11.

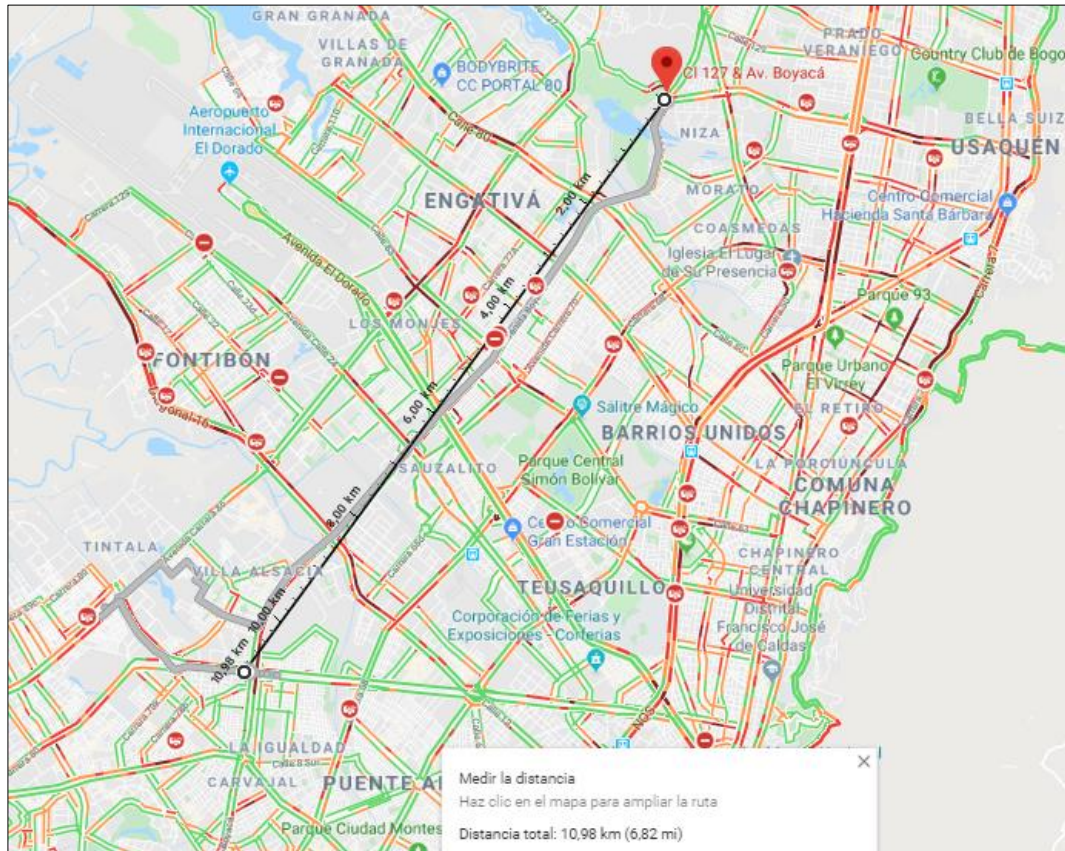
Como se muestra en la Figura 12, las características de movilidad de esta avenida son:

- Dos (2) direcciones de movilidad (norte-sur, sur-norte).
- Dos (2) corredores en cada dirección.
- Dos (2) carriles en cada corredor.
- Un (1) carril rápido en cada dirección con restricciones de movilidad a automotores de transporte masivo, transporte de carga y ciclomotores con pasajeros.
- Velocidad máxima para avenidas principales de 50 Km/h propuesta en 2019

⁵⁷ EL TIEMPO. Los caminos que le cambiaron la cara a Bogotá. [Online, 22 de agosto del 2019]. Disponible en :< <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16623256>>

por la Secretaría Distrital de Movilidad⁵⁸, se inició la medida con los 5 corredores viales cuya accidentalidad por velocidad era la más alta en el distrito. Y a la fecha se amplió a 8 corredores viales.

Figura 11. Distancia de la Av. Boyacá entre la Av. De las Américas y la Avenida Calle 127.



Fuente. Google Maps, [En línea]. Bogotá: SITP. [Citado el 19 de agosto del 2019]. Disponible en internet: <<https://www.google.com/maps/place/CI+127+%26+Av.+Boyac%C3%A1,+Bo0x1d6c0bdf498cce!8m2!3d4.7098516!4d-74.0801674!5m1!1e1>>

⁵⁸ SECRETARÍA DE MOVILIDAD. 50 kilómetros por hora, el nuevo límite de velocidad en cinco corredores de la ciudad. [Online, 20 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/Noticia/50_kil%C3%B3metros_por_hora_el_nuevo_l%C3%ADmite_de_velocidad_en_cinco_corredores_de_la_ciudad>

Figura 12. Tramo de la Av. Boyacá



Fuente. Tomado de Google Maps, [online, 19 de agosto del 2019].

2.1.2. SemafORIZACIÓN. Este tramo cuenta con nueve semáforos de tráfico vehicular que tienen un tiempo de parada o todo rojo programado de 90 segundos en promedio y que se encuentran ubicados de acuerdo al flujo de vehículos, el flujo peatonal y las intersecciones existentes con otras vías de igual o mayor volumen. En el tramo estudiado, los semáforos se encuentran ubicados de la siguiente manera:

- Semáforo calle 8a.
- Semáforo calle 9a.
- Semáforo calle 12.
- Semáforo calle 12b.
- Semáforo calle 53.
- Semáforo calle 63.
- Semáforo calle 66a.
- Semáforo calle 75.
- Semáforo calle 127.

Estos semáforos están programados con tiempo fijo y según prensa nacional⁵⁹ en 35 intersecciones, estos han sido modernizados avanzando con un avance del 25.3%. La instalación de luces led y semáforos de policarbonato se encuentra en un 47%.

⁵⁹ RCN RADIO. Tres localidades en Bogotá ya cuentan con semáforos 'inteligentes'. [Online, 20 de noviembre del 2019]. Disponible en: <<https://www.rcnradio.com/bogota/tres-localidades-en-bogota-ya-cuentan-con-semaforos-inteligentes>>

Figura 13. Semáforo Avenida Boyacá con Calle 12



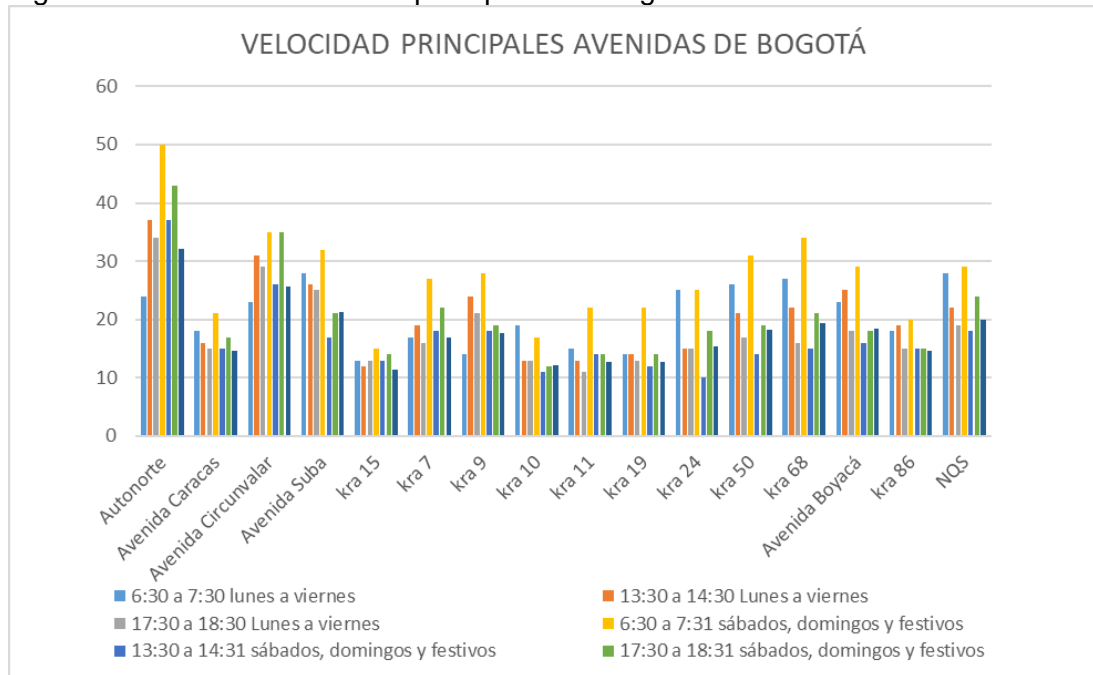
Fuente. Tomado de Google Maps, [En línea]. Bogotá: SITP. [Citado el 19 de agosto del 2019] Disponible en internet:<https://www.google.com/maps/@4.6445315,-74.1317293,3a,75y,21.71h,93.42t/data=!3m6!1e1!3m4!1sk6LgHH8_et4aFqaFY56SIA!2e0!7i13312!8i6656>

2.1.3. Velocidad promedio. De acuerdo al reporte Observatorio de movilidad realizado por la Secretaría Distrital de Movilidad en el año 2017, La Avenida Boyacá en promedio es la octava avenida longitudinal con mayor velocidad como se evidencia en las figuras 14 y 15⁶⁰, obtenidas del anexo A, información obtenida del reporte anteriormente mencionado, en las cual se muestran las velocidades de trayectos sentido Norte-Sur y Sur-Norte en horarios y días establecidos de la siguiente manera:

- De 6:30 a 7:30 de lunes a viernes
- De 13:30 a 14:30 de lunes a viernes
- De 17:30 a 18:30 de lunes a viernes
- De 6:30 a 7:30 de sábado, domingo y festivo
- De 13:30 a 14:30 de sábado, domingo y festivo
- De 17:30 a 18:30 de sábado, domingo y festivo

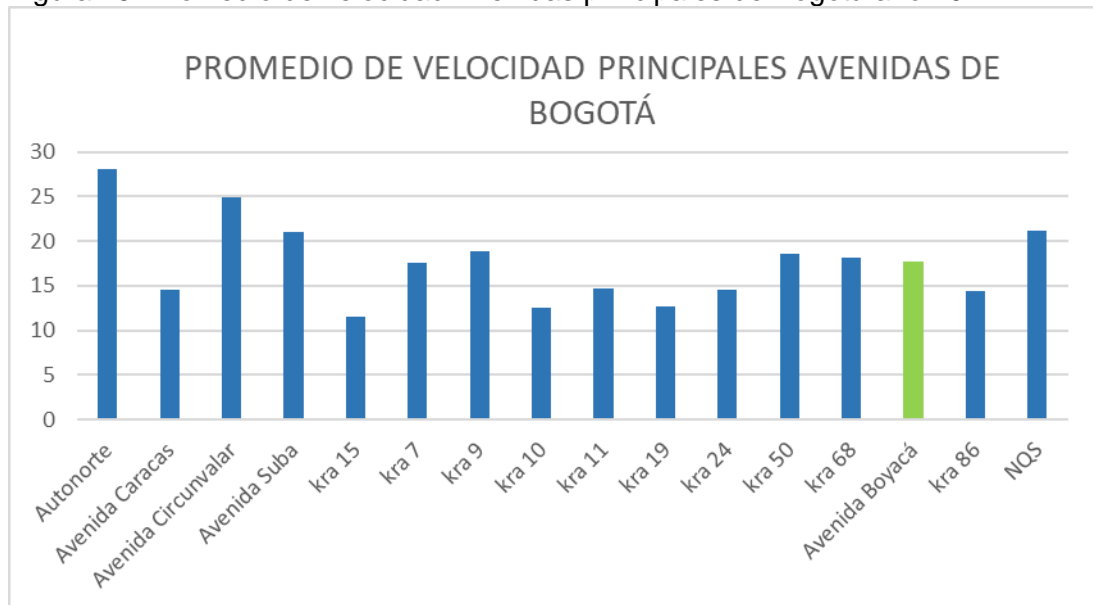
⁶⁰ SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Observatorio de movilidad. 2017. [Ingresado 20 de octubre de 2019]

Figura 14. Velocidad Avenidas principales de Bogotá año 2017



Fuente. El Autor

Figura 15. Promedio de velocidad Avenidas principales de Bogotá año 2017

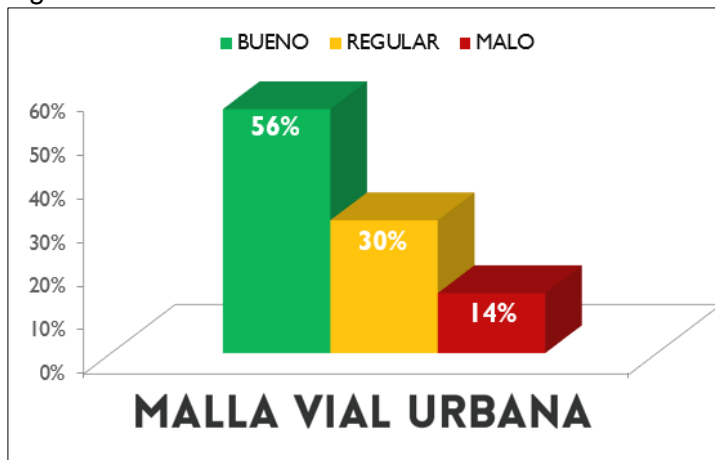


Fuente. El Autor

2.1.4. Malla vial. Con respecto al visor de la malla vial publicado por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en el año 2019, y de acuerdo con los criterios especificados por dicha entidad (Buena, regular y mala). Se realiza el análisis con respecto al visor de malla vial 2019 arrojando como resultado

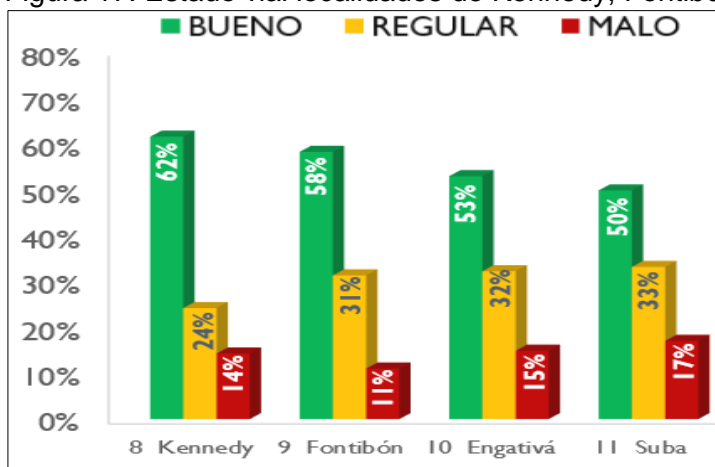
los datos de la Figura 16 (56%,30%,14%), en el cual se indica el estado general de la malla vial urbana. Asimismo, este documento arroja el estado de las vías por localidad, por lo cual, se toma la información de las localidades de Kennedy (62%, 24% y 14%), Fontibón (58%, 31% y 11%), Engativá (53%, 32% y 15%) y Suba (51%, 33% y 17%) como se muestra en la figura 18 por ser las localidades con incidencia en el tramo⁶¹.

Figura 16. Estado Malla Vial Urbana



Fuente. INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, Visor_Malla_Vial_2019, [Documento electrónico Excel]. Bogotá D.C. 2019.Estadísticas 2019 malla vial.

Figura 17. Estado vial localidades de Kennedy, Fontibón, Engativá y Suba



Fuente. INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, Visor_Malla_Vial_2019, [Documento electrónico Excel]. Bogotá D.C., 2019.Estadísticas 2019 malla vial.

⁶¹ INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, Visor_Malla_Vial_2019, [Documento electrónico Excel]. Bogotá D.C. 2019.Estadísticas 2019 malla vial.

De acuerdo con los porcentajes anteriormente encontrados se realizó un promedio teniendo como resultado que el 56% del tramo estudiado se encuentra en buen estado, el 30% en estado regular y el 14,25% mal estado.

2.1.5. Accidentalidad. Con respecto a la accidentalidad de la vía, según el estudio de Vargas, Mozo y Herrera en 2012 “La avenida Boyacá es la que presenta mayor número de accidentes con un alto margen sobre el segundo que es la avenida ciudad de Cali, por lo que varias de las avenidas que cruzan este corredor son probablemente intersecciones críticas.”⁶² En donde se tienen cifras de 2800 accidentes para el año 2009. De acuerdo con los informes de accidentalidad vial de la secretaria de movilidad de la ciudad de Bogotá, se observa en la Figura 17, consecutiva que el índice de accidentalidad es alto, teniendo sus puntos más críticos en la Calle 72, Avenida Esperanza y Calle 13. Con respecto al artículo del tiempo en 2018 es la avenida con mayor mortalidad con 59 personas fallecidas en el año 2017.

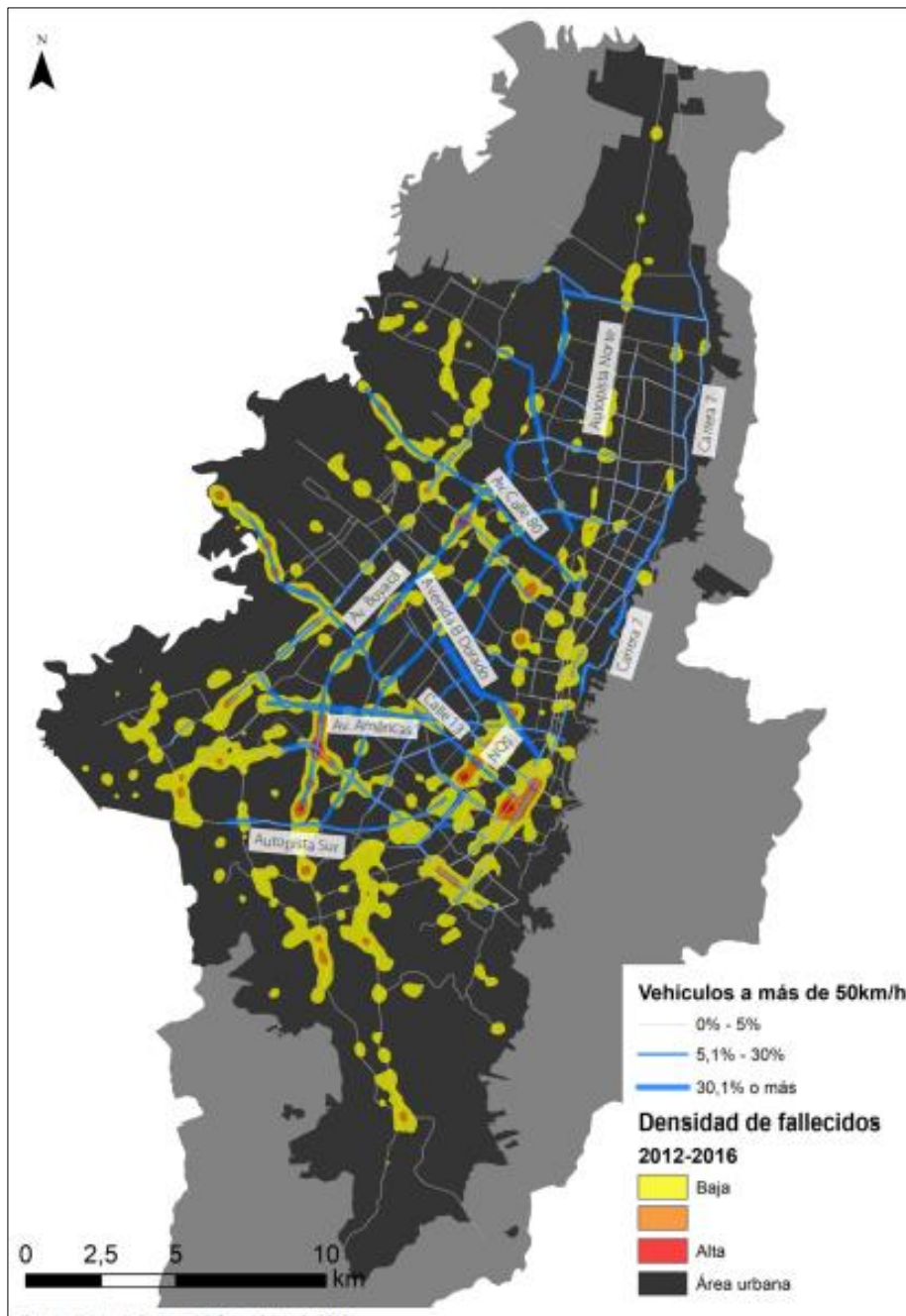
Con respecto a la accidentalidad del año 2015⁶³ ⁶⁴se reportaron un total de 31322 accidentes con 537 muertes como se muestra en la ilustración 17 y de acuerdo con la información presentada por Caracol radio con respecto a la accidentalidad de la avenida Boyacá en los años 2014 y 2015, la cual indica 114 muertes y 4243 accidentes reportados en esta vía. De esta manera se obtuvo un porcentaje de fatalidad del 10.6% y un porcentaje de accidentalidad vial del 6.7%, teniendo en cuenta que existen 35 corredores viales principales en la ciudad de Bogotá.

⁶² Vargas, W. E., Mozo, E., & Herrera, E. Análisis de los puntos más críticos de accidentes de tránsito en Bogotá. Universidad Distrital .2012.

⁶³El tiempo. Este es el top cinco de las vías más peligrosas de Bogotá Cifras de Accidentes de Tránsito en Bogotá entre 2015 y 2016, [En línea]. Bogotá: el tiempo. [Citado el 10 de septiembre del 2019]. Disponible en internet:< <https://www.eltiempo.com/bogota/vias-mas-peligrosas-de-bogota-la-boyaca-es-la-principal-en-accidentalidad-264240>>

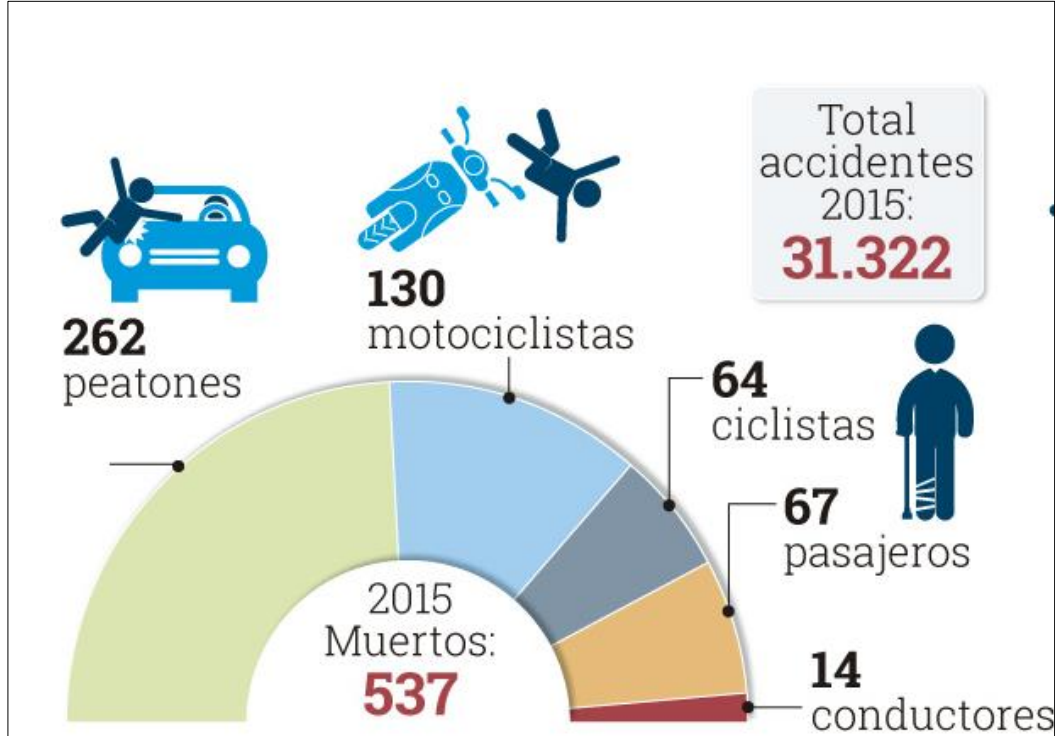
⁶⁴ Caracol. Exceso de velocidad en Avenida Boyacá deja 21 personas fallecidas, [En línea]. Bogotá: el tiempo. [Citado el 10 de septiembre del 2019]. Disponible en internet:< https://caracol.com.co/emisora/2016/09/21/bogota/1474487585_640991.html>

Figura 18. Puntos con alta concentración de fallecidos y velocidad en corredores arteriales 2012-2016.



Fuente. Secretaria de Movilidad. Plan distrital de Seguridad vial 2017-2026, En línea]. Bogotá: Secretaria de movilidad de Bogotá. [Citado el 10 de septiembre del 2019]. Disponible en internet: <<https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/2019-06-05/PDSV%20BOG.pdf>>

Figura 19. Cifras de Accidentes de Tránsito en Bogotá entre 2015 y 2016



Fuente. EL TIEMPO. Cifras de Accidentes de Tránsito en Bogotá entre 2015 y 2016, [En línea]. Bogotá: Secretaria de Movilidad. [Citado el 10 de septiembre del 2019]. Disponible en internet:< <https://www.eltiempo.com/bogota/cifras-de-accidentes-de-transito-en-bogota-entre-2015-y-2016-119946>>

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN LOGÍSTICA EN LA AVENIDA BOYACÁ.

2.2.1. Estudio de tiempos. Se realizó un estudio de tiempos estimados, mediante la aplicación Google Maps, en sentido norte-sur y sur-norte de 6:00 am a 10:00 pm, cada hora durante 10 días, para determinar las características de movilidad y el tiempo para transporte público con las rutas enlazadas mediante el GPS instalado en algunas rutas de SITP. (Véase Anexo B y Anexo C), además se obtuvieron los promedios estimados de espera, promedios de espera por hora, trayecto y el promedio de transbordos que realiza cada persona (Véase Cuadro 1 y Cuadro 2).

El primer caso observado a continuación será el del tramo estudiado en sentido Norte-Sur observando los siguientes datos.

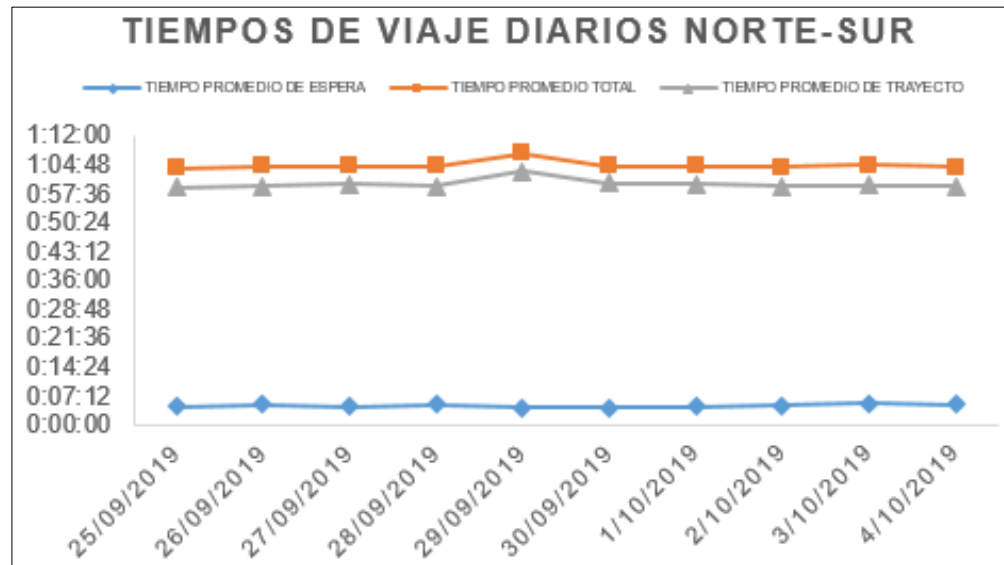
Cuadro 1. Promedio de tiempos diario del Trayecto Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida de las Américas en la ciudad de Bogotá.

FECHA	TIEMPO PROMEDIO DE ESPERA	TIEMPO PROMEDIO TOTAL	TIEMPO PROMEDIO DE TRAYECTO
25/09/2019	0:04:34	1:03:46	0:59:13
26/09/2019	0:05:06	1:04:32	0:59:27
27/09/2019	0:04:24	1:04:19	0:59:55
28/09/2019	0:04:57	1:04:20	0:59:22
29/09/2019	0:04:19	1:07:30	1:03:12
30/09/2019	0:04:16	1:04:25	1:00:09
1/10/2019	0:04:31	1:04:25	0:59:54
2/10/2019	0:04:45	1:04:08	0:59:23
3/10/2019	0:05:07	1:04:40	0:59:32
4/10/2019	0:04:54	1:04:13	0:59:19
Promedio	0:04:41	1:04:38	0:59:57

Fuente. El Autor

De acuerdo con los resultados obtenidos, en promedio el tiempo diario que espera un usuario de transporte público es de 0:04:41, de igual manera la duración total en la Avenida Boyacá en el trayecto desde la Avenida Calle 127 hasta la Avenida Américas es de 1:04:38, donde cada ciudadano debe realizar 2 transbordos para completar el trayecto estudiado.

Figura 20 .Tiempos de viaje y de espera Avenida Boyacá entre Avenida Américas y Avenida Calle 127



Fuente. El Autor

Como se puede observar en la figura 20 existe un pico en los tiempos totales en los días sábado 28 y domingo 29 de septiembre. Sin embargo, se observa que la distribución de los datos tiene un comportamiento uniforme.

Con respecto al comportamiento de los tiempos de acuerdo con las horas del día se realizó el promedio de la opción que toma menos tiempo en cada una de las horas de acuerdo con las fechas, de esta manera se encontró que el mayor tiempo de viaje total se da a las 2 p.m. con una duración de 1:04:24 horas, teniendo un tiempo de espera de 05:06 minutos, lo que indica un comportamiento de alto tráfico. El tiempo de espera más largo se da a las 10 p.m. con un tiempo aproximado de 8 minutos, sin embargo, a esta hora se da el trayecto con menor duración.

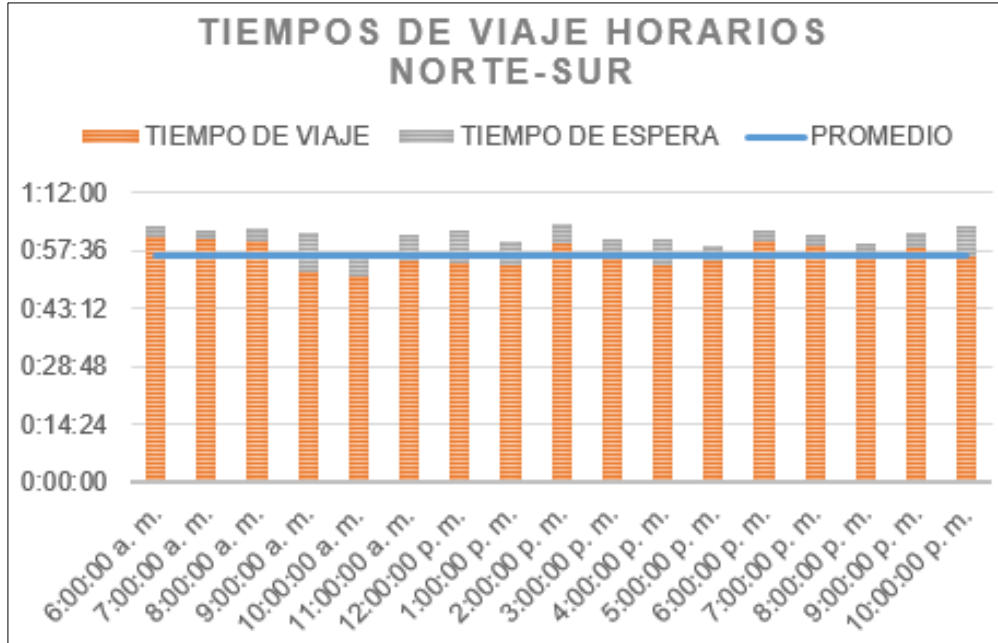
El promedio de tiempos de espera diaria es de 2:13 minutos al día, el promedio de tiempo de viaje es de 1:04:07 horas para dicho trayecto en transporte público.

Cuadro 2. Promedio de tiempos horarios del Trayecto Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida de las Américas en la ciudad de Bogotá.

PROMEDIO DE TIEMPOS MÁS BAJOS POR HORA			
HORA	TIEMPO DE VIAJE	TIEMPO DE ESPERA	TIEMPO TOTAL
6:00:00 a. m.	1:01:12	0:02:24	1:03:36
7:00:00 a. m.	1:00:12	0:02:12	1:02:24
8:00:00 a. m.	1:00:06	0:03:12	1:03:18
9:00:00 a. m.	0:52:06	0:09:54	1:02:00
10:00:00 a. m.	0:51:00	0:06:18	0:57:18
11:00:00 a. m.	0:54:54	0:06:30	1:01:24
12:00:00 p. m.	0:54:30	0:08:06	1:02:36
1:00:00 p. m.	0:54:12	0:05:42	0:59:54
2:00:00 p. m.	0:59:18	0:05:06	1:04:24
3:00:00 p. m.	0:56:12	0:04:30	1:00:42
4:00:00 p. m.	0:54:06	0:06:24	1:00:30
5:00:00 p. m.	0:55:00	0:03:36	0:58:36
6:00:00 p. m.	1:00:00	0:02:54	1:02:54
7:00:00 p. m.	0:58:42	0:02:42	1:01:24
8:00:00 p. m.	0:56:36	0:02:48	0:59:24
9:00:00 p. m.	0:58:18	0:03:36	1:01:54
10:00:00 p. m.	0:56:16	0:07:20	1:03:36
PROMEDIO	0:56:38	0:04:54	1:01:31

Fuente. El Autor

Figura 21. Tiempos de viaje y de espera horarios Avenida Boyacá entre Avenida Américas y Avenida Calle 127.



Fuente. El Autor

De igual manera se realizó el estudio en el trayecto Sur-Norte obteniendo los siguientes resultados. (Véase Cuadro 3)

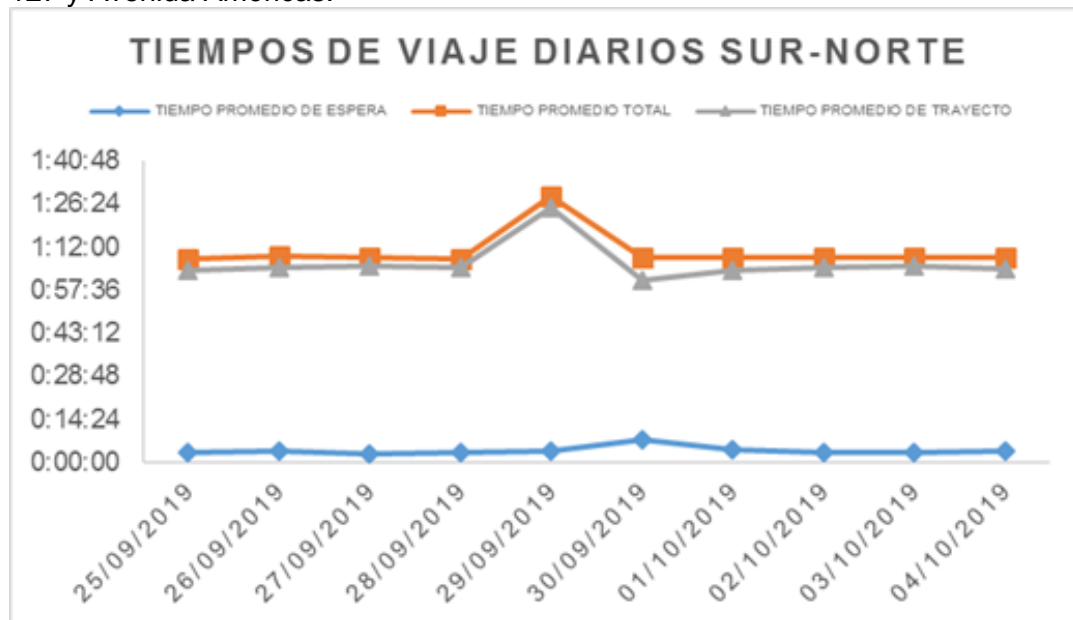
Cuadro 3. Promedio de tiempos en la Avenida Boyacá en el Trayecto desde la Avenida de las Américas hasta la Avenida Calle 127 Boyacá en la ciudad de Bogotá.

FECHA	TIEMPO PROMEDIO DE ESPERA	TIEMPO PROMEDIO TOTAL	TIEMPO PROMEDIO DE TRAYECTO
25/09/2019	0:03:33	1:07:54	1:04:21
26/09/2019	0:03:40	1:08:47	1:05:07
27/09/2019	0:02:57	1:08:28	1:05:31
28/09/2019	0:03:16	1:08:13	1:04:56
29/09/2019	0:03:44	1:29:03	1:25:19
30/09/2019	0:07:27	1:08:26	1:00:59
1/10/2019	0:04:22	1:08:33	1:04:11
2/10/2019	0:03:20	1:08:39	1:05:19
3/10/2019	0:03:07	1:08:34	1:05:28
4/10/2019	0:03:57	1:08:28	1:04:32
Promedio	0:03:56	1:10:30	1:06:34

Fuente. El Autor

Los resultados obtenidos en la Avenida Boyacá en el tramo desde la Avenida Américas hasta la Avenida Calle 127, un ciudadano gasta en promedio 3:56 minutos esperando una ruta, de igual manera la duración total del viaje en el trayecto es de 1:13:06 horas, donde cada ciudadano debe realizar 2 transbordos para finalizar su viaje en el trayecto estudiado.

Figura 22. Tiempos de viaje y de espera diarios Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida Américas.



Fuente. El Autor

Se observa en la Figura 22 que existen picos similares a los estudiados en el trayecto Norte sur en el día domingo 29 y el lunes 30 de septiembre, por lo que se presume algún tipo de accidente reportado en la vía. Sin embargo, se puede concluir que el tiempo de duración de los fines de semana es mayor al de los días entre semana en ambos casos. Se observa que el rango de tiempos de espera es de aproximadamente 8 minutos.

En los tiempos horarios en el trayecto Sur-Norte el tiempo de viaje más largo es el de las 10 a.m. con un tiempo total de 1:10:12 horas, teniendo un tiempo de espera mínimo, por lo cual se puede deducir algún tipo de accidente o altos volúmenes de tráfico. El tiempo de espera más prolongado se da en el horario de las 10 p.m. con un tiempo aproximado de 8 minutos.

Se observa en el Cuadro 4, que el comportamiento en ambos trayectos tiene una gran similitud horaria, por lo cual se concluye que los mayores tiempos de espera se dan en el horario de 2 a 4 pm y 9 a 10 pm.

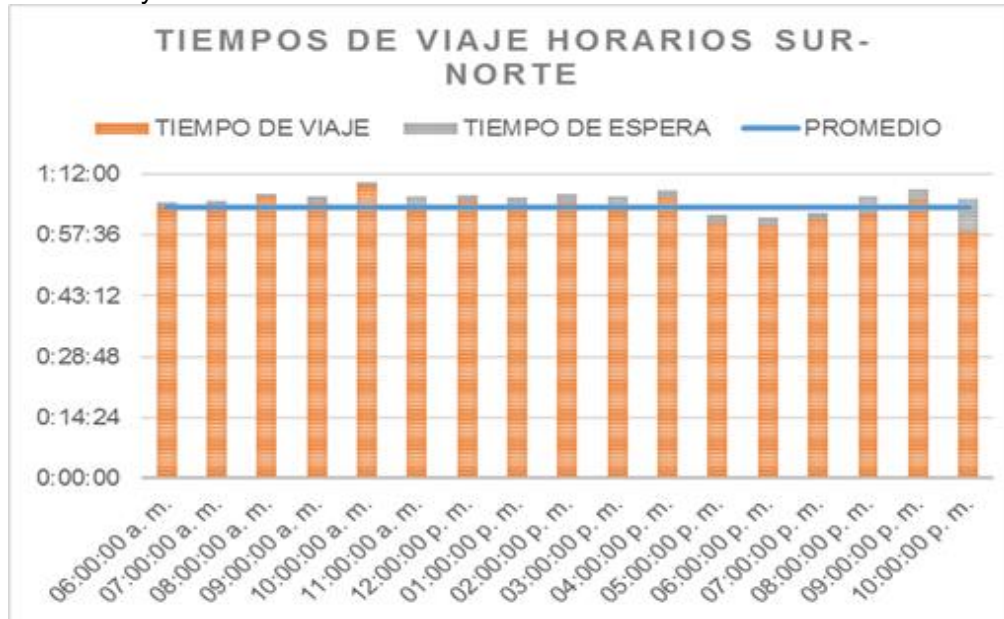
El tiempo promedio de duración de viaje horario es de 1:04:07, por lo cual se observa un comportamiento de distribución uniforme en los tiempos diarios y horarios, con esto se concluye que los tiempos de viaje van a tener un comportamiento uniforme con una media de 1:07:30 y una desviación estándar de 0:06:54

Cuadro 4. Promedio de tiempos horarios del Trayecto Avenida Boyacá entre Avenida de las Américas y Avenida Calle 127 en la ciudad de Bogotá.

PROMEDIO DE TIEMPOS MÁS BAJOS POR HORA			
HORA	TIEMPO DE VIAJE	TIEMPO DE ESPERA	TIEMPO TOTAL
6:00:00 a. m.	1:04:12	0:01:12	1:05:24
7:00:00 a. m.	1:04:06	0:01:36	1:05:42
8:00:00 a. m.	1:06:48	0:00:36	1:07:24
9:00:00 a. m.	1:05:24	0:01:30	1:06:54
10:00:00 a. m.	1:09:36	0:00:36	1:10:12
11:00:00 a. m.	1:04:12	0:02:36	1:06:48
12:00:00 p. m.	1:05:48	0:01:12	1:07:00
1:00:00 p. m.	1:04:30	0:02:06	1:06:36
2:00:00 p. m.	1:05:30	0:02:00	1:07:30
3:00:00 p. m.	1:04:06	0:02:48	1:06:54
4:00:00 p. m.	1:06:42	0:01:24	1:08:06
5:00:00 p. m.	1:00:36	0:01:54	1:02:30
6:00:00 p. m.	0:59:54	0:02:00	1:01:54
7:00:00 p. m.	1:01:18	0:01:36	1:02:54
8:00:00 p. m.	1:02:48	0:04:06	1:06:54
9:00:00 p. m.	1:05:54	0:02:42	1:08:36
10:00:00 p. m.	0:58:31	0:07:47	1:06:18
PROMEDIO	1:04:07	0:02:13	1:06:20

Fuente. El Autor

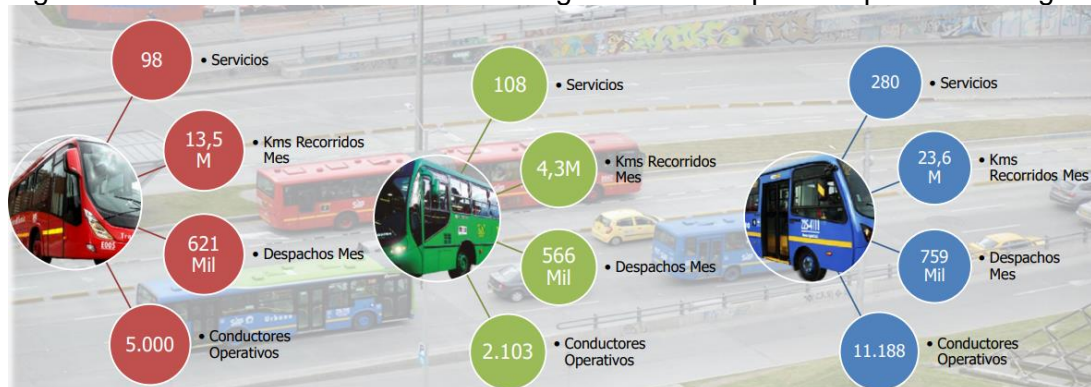
Figura 23. Tiempos de viaje y de espera horarios Avenida Boyacá entre Avenida Calle 127 y Avenida Américas.



Fuente. El Autor

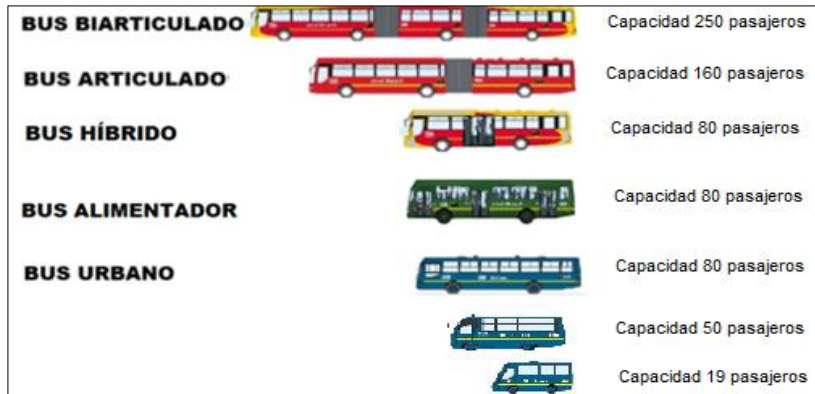
2.2.2.Capacidad y demanda de los vehículos. La actual flota de buses que circula por la ciudad de Bogotá, cuenta buses BTR tipo articulado y biarticulado, buses duales, buses urbanos y alimentadores. De acuerdo con el último reporte trimestral de Transmilenio en cifras, se observa la oferta del sistema actual En el siguiente esquema se muestra la capacidad de cada uno de estos vehículos de forma individual. (Véase la Figura 24)

Figura 24. Datos de oferta del Sistema Integrado de Transporte de público de Bogotá



Fuente. Transmilenio S.A. Transmilenio en cifras. 2019. [Reporte trimestral]. Bogotá. [Citado el 17 de noviembre del 2019]. Disponible en: <<https://www.transmilenio.gov.co/publicaciones/151449/estadisticas-de-oferta-y-demanda-del-sistema-integrado-de-transporte-publico-sitp-agosto-2019/>>

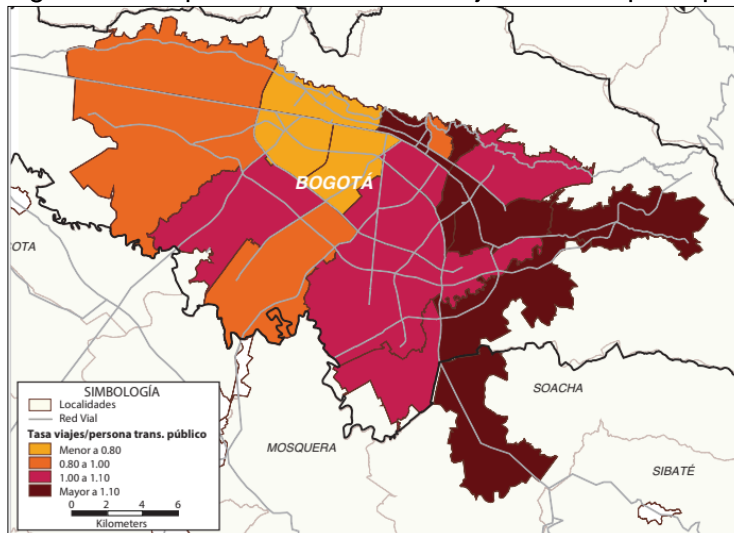
Figura 25. Comparativo entre flotas de vehículos existentes en la ciudad de Bogotá D.C.



Fuente. El Autor

De acuerdo con las tasas de viajes en transporte público de las localidades de Kennedy, Fontibón, Engativá y Suba, la Avenida Boyacá se convierte en un corredor importante para la movilidad de los usuarios del Sistema de Transporte Público, especialmente porque en esta avenida circulan rutas de buses zonales que funcionan para la interconexión al centro de la ciudad y viceversa, de acuerdo con la hora del día debido al número de habitantes residentes de estas localidades, comparado con los viajes de destino. (Véase la Figura 26)

Figura 26. Mapa de demanda de viajes de transporte público por persona.

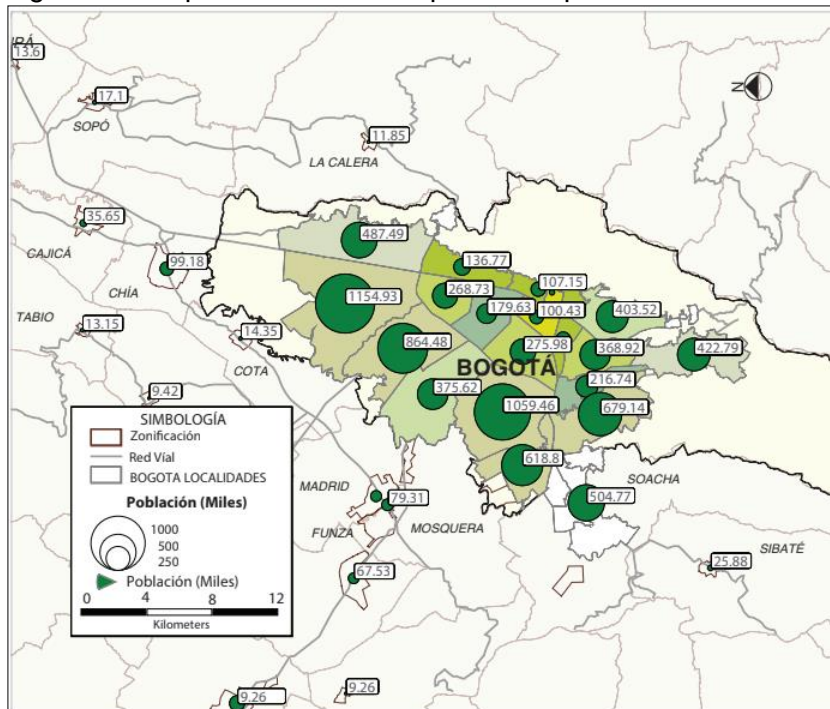


Fuente. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. [En línea]. Bogotá. Plan maestro de movilidad. [Citado el 10 de septiembre]. Disponible en: <<https://drive.google.com/file/d/0ByNoeWkPXuHpRTVyaUhwLTKtQXc/view>>

La demanda de los servicios zonales del SITP que circulan por esta avenida, se encuentra en una tasa entre 0.80 y 1.10. La ausencia del sistema troncal

en este corredor fomenta a la creación de rutas o replanteo de las mismas para cubrir los barrios a los costados oriental y occidental de la vía y cubrir la necesidad de transporte público en estas zonas. Las localidades de Kennedy y Suba son las más pobladas de acuerdo con el mapa de focalización de habitantes y por lo tanto son las que más demanda requerirían. (Véase la figura 27)

Figura 27. Mapa de aumento de población por localidades.



Fuente. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. [En línea]. Bogotá. Plan maestro de movilidad. [Citado el 10 de septiembre]. Disponible en: <<https://drive.google.com/file/d/0ByNoeWkPXuHpRTVyaUhWLTktQXc/view.>>

Sin embargo, las cuatro localidades analizadas tienen patrones de comportamiento socioeconómico variado. Por ejemplo, la localidad de Kennedy tiene un índice de uso residencial exclusivo del 3.2%, frente al 9.4% de la localidad de Suba; un índice de ocupación mixta de 1.4% para Kennedy y 32.9% para la localidad de Suba. Ambos indicadores, demuestran que a pesar del número de habitantes que una localidad u otra presente, la demanda de servicios públicos no necesariamente sea equivalente. La tasa de viajes es menor en la localidad de Suba es menor a la de Kennedy por las condiciones del desarrollo de las actividades socioeconómicas de estas localidades.

Un comportamiento similar ocurre para las localidades de Engativá y Fontibón. Sin embargo, estas localidades son principalmente industriales y el

uso del transporte público a lo largo de la avenida Boyacá es menor comparado con las localidades de Suba y Kennedy. (Véase el Cuadro 5)

Cuadro 5. Distribución porcentual del suelo según criterios de hábitat por localidad de Bogotá.

LOCALIDAD	RESIDENCIAL EXCLUSIVO	MIXTO	DESARROLLO INFORMAL	INDUSTRIAL	INSTITUCIONAL Y OTROS ¹⁾
Usaquén	19.6	41.8	12.6	15.7	10.4
Chapinero	9.9	60.3	27.3	-	2.5
Santa Fe	5.6	3.0	81.9	3.3	6.1
San Cristóbal	2.1	-	74.9	18.4	4.6
Usme	10.1	-	84.5	-	5.4
Tunjuelito	11.5	-	49.1	22.6	16.7
Bosa	1.6	-	81.0	3.3	14.1
Kennedy	3.2	1.4	40.0	40.9	14.5
Fontibón	1.0	10.4	37.3	24.1	27.2
Engativá	4.6	4.5	19.0	62.9	9.1
Suba	9.4	32.9	28.8	18.4	10.6
Barrios Unidos	16.1	33.8	15.3	25.7	9.1
Teusaquillo	33.4	46.7	11.1	1.6	7.1
Los Mártires	6.3	2.4	53.5	31.1	6.6
Antonio Nariño	7.5	-	16.9	72.9	2.7
Puente Aranda	6.5	-	40.5	50.4	2.7
La Candelaria	14.8	2.1	66.3	14.5	2.3
Rafael Uribe	3.9	-	40.3	54.5	1.3

Fuente. ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. [En línea]. Bogotá. Plan maestro de movilidad. [Citado el 10 de septiembre]. Disponible en: <<https://drive.google.com/file/d/0ByNoeWkPXuHpRTVyaUhwLTKtQXc/view>>

2.2.3. Volumen de vehículos. En la ciudad de Bogotá y específicamente en la avenida Boyacá, el tráfico mixto es uno de las principales causas de baja movilidad, por lo cual se realizará una identificación de los vehículos que transitan por esta vía y se cuantificarán de acuerdo con las necesidades del estudio en curso. Los datos que se presentan a continuación se tomaron de los estudios de movilidad y los puntos de aforo vehicular de la Secretaría de Movilidad de Bogotá. (Véase el Cuadro 6).

Cuadro 6. Volumen horario en vehículos mixtos para la intersección

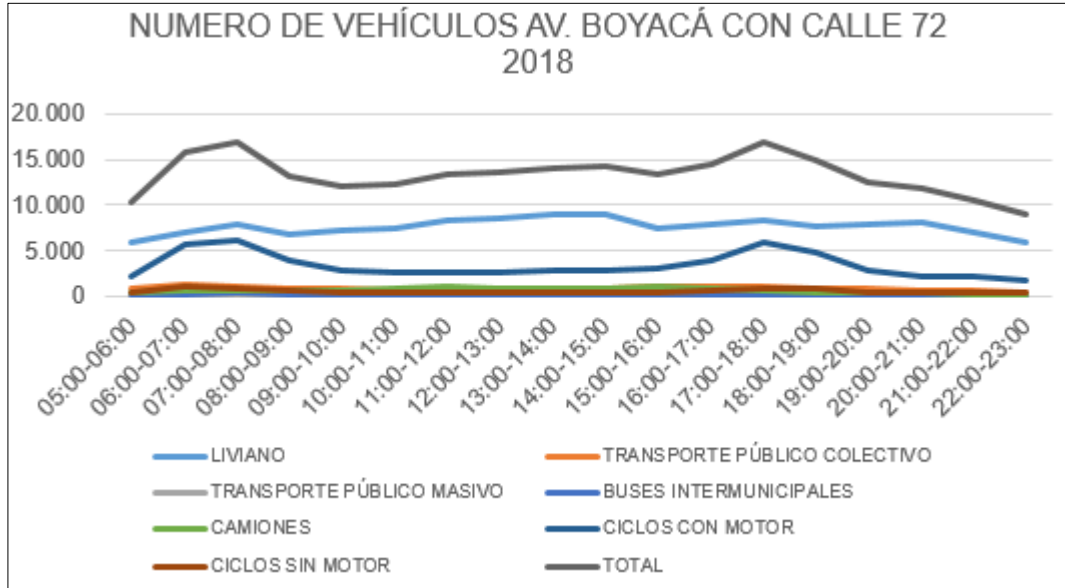
HORA	LIVIANO	TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO	TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO	BUSES INTERMUNICIPALES	CAMIONES	CICLOS CON MOTOR	CICLOS SIN MOTOR	TOTAL
05:00-06:00	5.881	934	0	258	489	2.189	504	10.255
06:00-07:00	7.048	1.190	0	289	577	5.725	1.089	15.918
07:00-08:00	7.878	990	0	355	620	6.190	924	16.957
08:00-09:00	6.766	877	0	264	669	4.029	546	13.151
09:00-10:00	7.330	764	0	208	567	2.909	389	12.167
10:00-11:00	7.517	694	0	250	803	2.654	398	12.316
11:00-12:00	8.248	716	0	263	1.006	2.676	414	13.323
12:00-13:00	8.595	844	0	195	794	2.702	400	13.530
13:00-14:00	8.889	851	0	258	889	2.723	382	13.992
14:00-15:00	8.977	901	0	217	873	2.822	380	14.170
15:00-16:00	7.545	1.020	0	267	970	3.131	447	13.380
16:00-17:00	7.802	1.061	0	285	863	3.977	529	14.517
17:00-18:00	8.312	963	0	240	596	5.966	896	16.973
18:00-19:00	7.704	897	0	241	489	4.784	834	14.949
19:00-20:00	7.807	788	0	246	440	2.900	433	12.614
20:00-21:00	8.094	638	0	145	339	2.245	379	11.840
21:00-22:00	7.080	571	0	148	210	2.214	388	10.611
22:00-23:00	6.007	483	0	118	181	1.813	303	8.905
TOTAL	153.550	17.182	0	4.730	12.419	66.238	10.694	264.813

Fuente. El Autor

De acuerdo con la información que presenta la Secretaría de Movilidad de Bogotá del 03 de marzo 2018⁶⁵ con respecto al estudio de volúmenes por tipo de vehículo discriminando camiones, realizado en la avenida Boyacá con calle 72, dirección que está dentro del rango estudiado, se puede observar el comportamiento según el tipo de vehículo, en el cual se identifica máximo de cantidad de vehículos con picos de 7 a 8 am, y de 5 a 6 pm como se puede identificar en la ilustración consecuente. Además, El valor total de vehículos clasificados en livianos (153.550), transporte público colectivo (17.182), transporte público masivo (0), buses intermunicipales (4.730), camiones (12.419), ciclos con motor (66.238), ciclos sin motor (10.694).

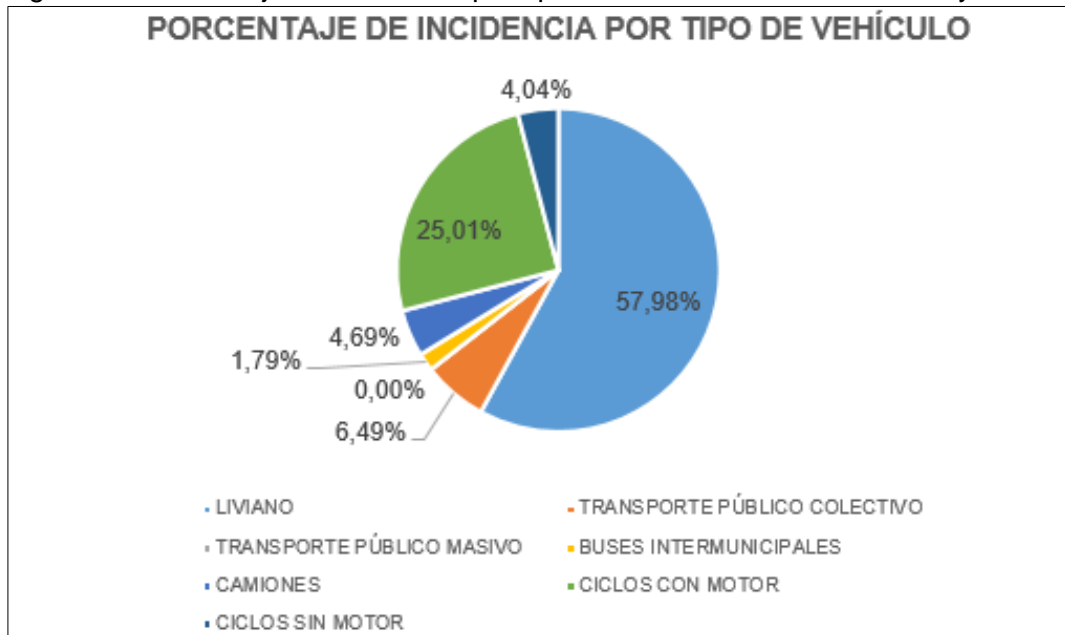
⁶⁵ SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Volúmenes por tipo de vehículo discriminando camiones 19513_AK_72_X_AC_72_180322_VOL (1).xlsx. 2018. [Documento de Excel] Disponible en: <<https://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/aforos-vehiculares-y-peatonales/>>

Figura 28. Número de vehículos Avenida Boyacá con Calle 72 22/03/2018.



Fuente. El Autor

Figura 29. Porcentaje de incidencia por tipo de vehículo en la Avenida Boyacá.

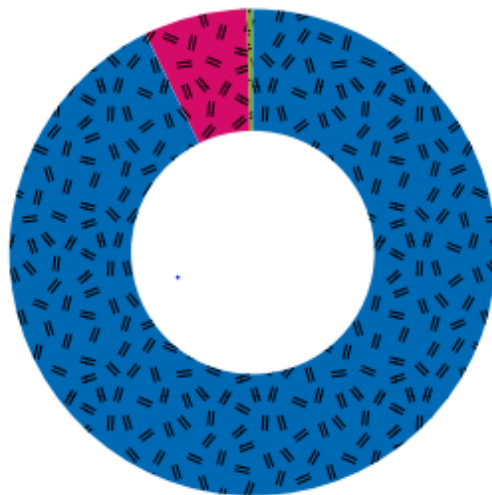


Fuente. El Autor

Los resultados porcentuales de transporte público en el tramo indican que el 6.49% pertenece a buses de Transporte Colectivo local.

En este estudio también se debe tener en cuenta la tasa de aumento vehicular anual, por lo cual, según estadísticas de la Secretaría Distrital de Movilidad⁶⁶ el número de vehículos particulares en la ciudad de Bogotá aumentó de 590.939 vehículos en el año 2002 a 2.017.779 vehículos en el año 2015, con respecto a la encuesta de movilidad de ese año. De acuerdo con la Fundación Bogotá Cómo Vamos⁶⁷, para el año 2019 se calcula un aproximado de 2'400.000 de vehículos circulan en las calles de la ciudad y de esos únicamente el 5% corresponde a transporte público como se observa en la figura 29. Con los datos de crecimiento de vehículos automotores se realizó un análisis de tendencia como se observa en la figura 29, obteniendo como resultado un aumento de vehículos livianos del 8.3% anual.

Figura 30. Porcentaje de compra de vehículos por sector.



PÚBLICO	PARTICULAR	OFICIAL
113.856	2.017.779	16.906
5,30%	93,91%	0,79%

Fuente. SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Movilidad Cifras 2015. [En línea] Disponible en: <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/SIMUR/ARCHIVOS/Movilidad_Cifras_2015_V4_marzo2017.pdf>

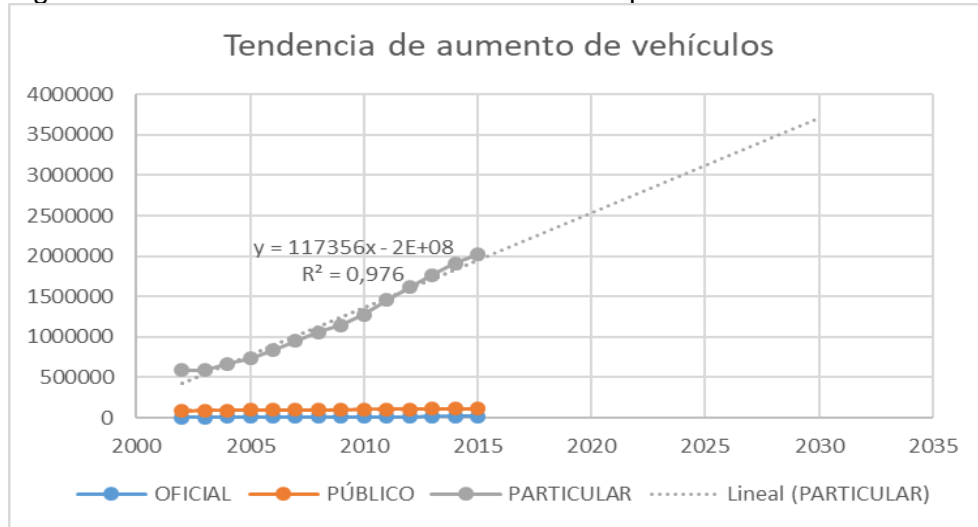
En este sentido, la cantidad de vehículos encargados del transporte público para 2015 es de 113.856 y para 2019 corresponden a 120.000. En los últimos

⁶⁶ SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Movilidad Cifras 2015. [En línea] Disponible en: <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/SIMUR/ARCHIVOS/Movilidad_Cifras_2015_V4_marzo2017.pdf>

⁶⁷ BOGOTÁ COMO VAMOS. Preocupa crecimiento de parque automotor en Bogotá. [En línea] Disponible en: <<http://www.bogotacomovamos.org/blog/preocupa-crecimiento-de-parque-automotor/>>

5 años, el parque automotor de vehículos particulares ha crecido un 24% y en contraste, el número de vehículos al servicio público es apenas del 2%.

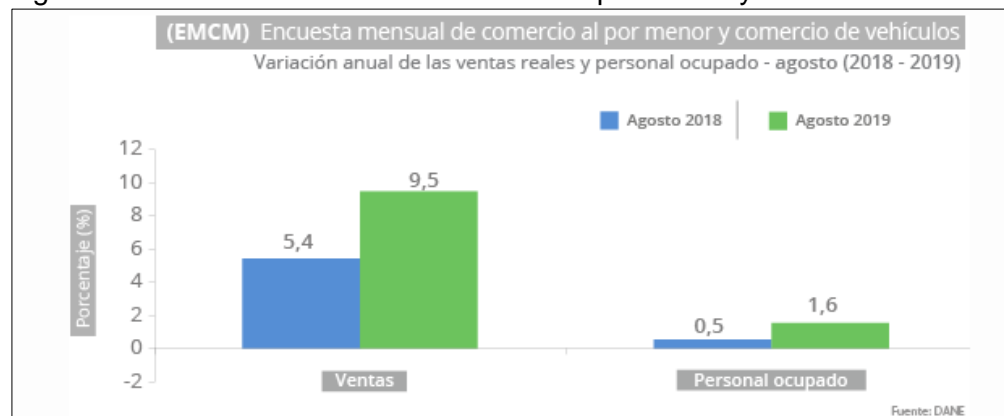
Figura 31. Tendencia de aumento de vehículos particulares



Fuente. El Autor

Realizando un análisis integrado entre el aumento de la población y la disminución del número de vehículos destinados para el transporte de pasajeros local se realizó la siguiente gráfica en la que se muestra a continuación, en donde se muestra la insuficiencia del sistema para cubrir el total de la población y la causa de aumento del 4.1% de ventas de vehículo automotor privado en el año en curso como indica del reporte del DANE. (Véase la figura 33).

Figura 32. Encuesta mensual de comercio al por menor y comercio de vehículos



Fuente. DANE. [En línea], Bogotá: Encuesta mensual de comercio al por menor y comercio de vehículos (EMCM). [Citado el 12 de septiembre del 2019]. Disponible en internet: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-interno/encuesta-emcm#informacion-emcm-agosto-2019>>

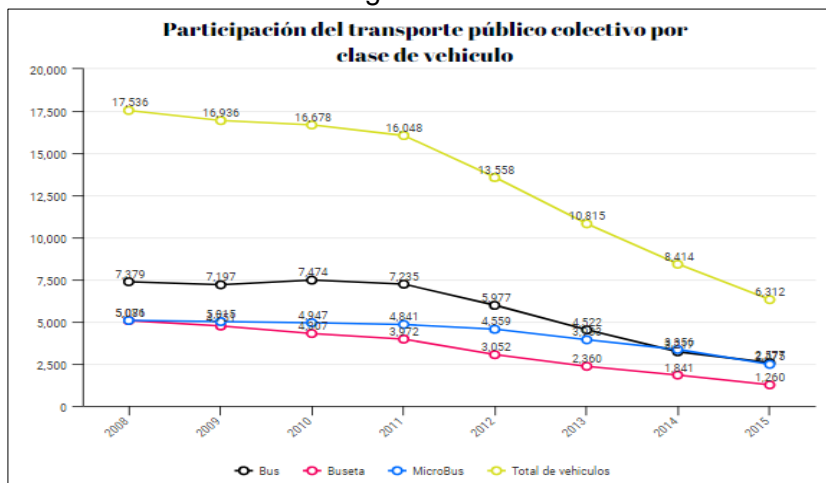
Teniendo en cuenta los datos del Cuadro 7 proveniente de la Secretaría Distrital de Movilidad⁶⁸, que indican la cantidad de buses destinados para transporte masivo existentes en la ciudad de Bogotá entre los años 2008 a 2015 en los cuales se puede observar la disminución de estos automotores por la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público, la disminución de estos automotores indica que la demanda de población atendida mediante transporte público no es año tras año deficiente y que se requiere implementar medidas de conectividad con sistemas troncales en este sector de la ciudad.

Cuadro 7. Cantidad de vehículos de transporte colectivo por tipo de flota en los años 2008-2015

Años	Bus	Buseta	Microbús	Total de Vehículos
2008	7.379	5.076	5.081	17.536
2009	7.197	4.751	5.015	16.963
2010	7.424	4.307	4.947	16.678
2011	7.235	3.972	4.851	16.048
2012	5.977	3.052	4.559	13.588
2013	4.522	2.360	3.933	10.815
2014	3.217	1.841	3.356	8.414
2015	2.577	1.260	2.475	6.312

Fuente. El Autor

Figura 33. Grafica de participación del transporte público colectivo por clase de vehículo en la ciudad de Bogotá.

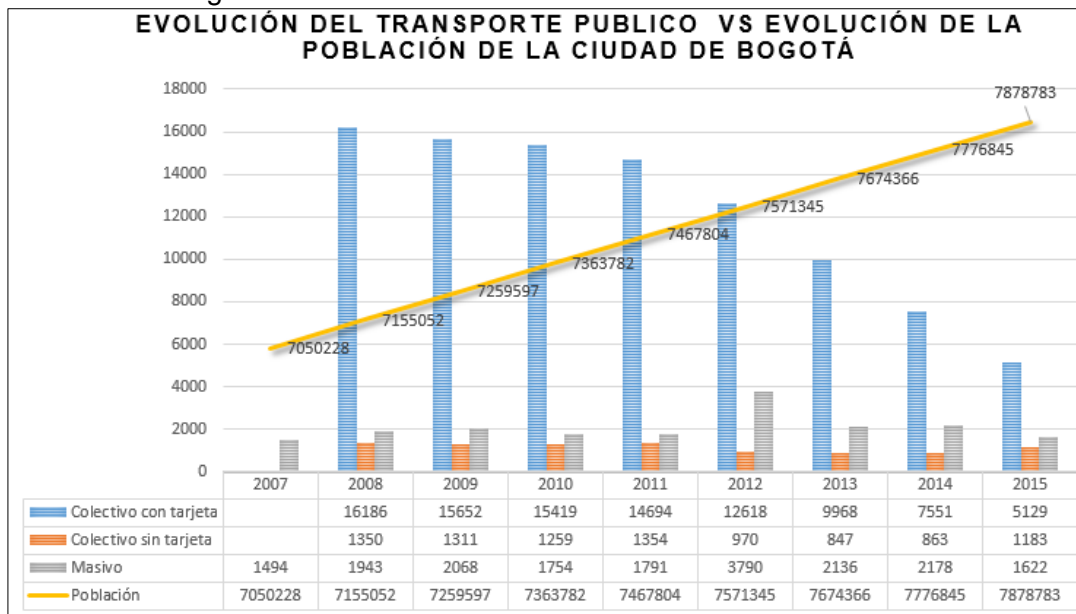


Fuente. El Autor

⁶⁸ SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Participación transporte público colectivo por clase de vehículo. [En línea] Disponible en: <https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/infografias/4.Participacion_transporte_publico_colectivo_por_clase_de_vehiculo.jpg>

De esta manera se realiza un análisis de tendencia en donde se observa en las figuras 33 y 34 la disminución masiva de participación este sistema de transporte en la ciudad. Según noticias nacionales⁶⁹ El sistema será implementado en su totalidad para diciembre de 2021, por lo cual la tendencia de participación de estos vehículos afectará la demanda y oferta del sistema.

Figura 34. Evolución del transporte público informal vs evolución de la población de la ciudad de Bogotá.

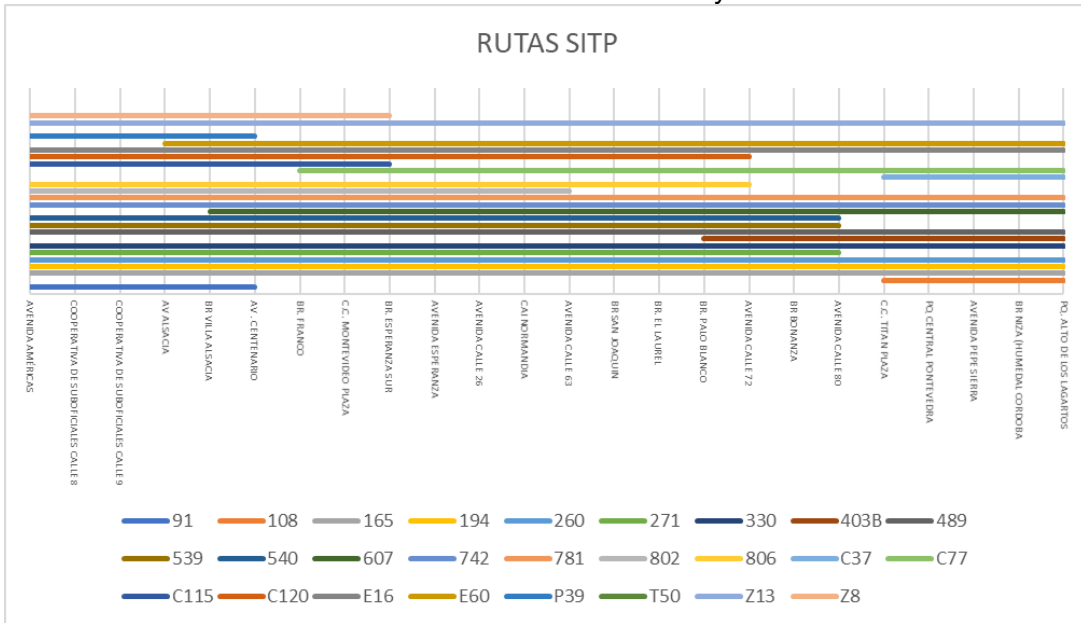


Fuente. El Autor

2.2.4.Cantidad de Rutas del SITP en el tramo. De acuerdo con el Anexo D, se realizó la identificación de las rutas que inciden en el tramo estudiado, se encontraron 26 rutas con 24 paradas propuestas en el sector, de las cuales 9 rutas paran en el 100% de las paradas, 8 rutas en un porcentaje del 99 al 60% de las paradas y 9 con un porcentaje menor al 60%. A continuación, se ilustra mediante una gráfica identificando las paradas y las rutas del sector. (Véase Figura 35).

⁶⁹ LA FM. Totalidad del Sitp provisional estará listo hasta el 2021. [Consultado 19 de noviembre de 2019] 2019. [En línea] Disponible en: <<https://www.lafm.com.co/bogota/totalidad-del-sitp-provisional-estara-listo-hasta-el-2021-distrito>>

Figura 35. Rutas que inciden en el tramo comprendido desde la Avenida de las Américas hasta la Avenida Calle 127 en la Avenida Boyacá



Fuente. El Autor

2.2.5. Frecuencia de rutas. De acuerdo con la información anteriormente analizada, se toman las 9 rutas que inciden en la totalidad del tramo y se realiza la búsqueda de información en la página de Tu Llave⁷⁰ como se muestra en el Anexo E, en donde se recolecta y se promedia la frecuencia de las rutas, encontrando que como resultado un tiempo de 13 minutos.

⁷⁰ RECAUDO BOGOTÁ S.A.S. Horarios y Frecuencias de las Rutas del SITP. [En línea] Disponible en: <<https://www.tullaveplus.com/web/public/frecuencias-y-horarios>>

3. DIAGNÓSTICO DE LOS ELEMENTOS QUE INTERACTÚAN EN EL SISTEMA DE MOVILIDAD DE TRANSPORTE PÚBLICO ACTUAL EN EL TRAMO DE LA AVENIDA BOYACÁ COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA LAS AMÉRICAS Y LA AVENIDA BOYACÁ.

De acuerdo con los resultados obtenidos caracterización de la Avenida Boyacá en el tramo que está comprendido entre la Avenida Américas y la Avenida Calle 127 y viceversa y de la operación logística de la misma, se pudo determinar las características generales de la avenida, los tiempos de viaje y espera que tarda un usuario del sistema en completar el tramo estudiado, los volúmenes y capacidades de los vehículos, demanda de la población en el sector y características como estado de la infraestructura y porcentaje de accidentalidad.

Identificando los elementos anteriormente estudiados, se recopilan mediante el Diagrama Causal, en el cual, se observan los tipos de variables que interactúan en el sistema, siendo la movilidad del transporte público de la Avenida Boyacá en el Tramo estudiado la variable nivel, el tiempo total de viaje, la Capacidad de los vehículos, la Demanda de pasajeros, y la Cantidad de vehículos que transitan en el tramo seleccionado. Las variables auxiliares del sistema son el aumento de la población en el sector, Las rutas del SITP, los porcentajes de cada tipo de vehículo, la velocidad promedio de la vía, la cantidad de semáforos, el estado de la malla vial, los tiempos de espera y de trayecto y la accidentalidad de la vía.

Figura 36. Diagrama causal del Sistema de movilidad de la Avenida Boyacá en el tramo desde la Avenida Américas hasta la Avenida Calle 127.



Fuente. El Autor

Se evidencia, mediante la figura anterior la interrelación y jerarquía entre los factores, y la variación directa o inversamente dependiendo el nivel de influencia. Se observa que el tiempo de movilidad se subdivide en el tiempo neto de viaje en el trayecto el cual es el tiempo mínimo que demorarían los usuarios en recorrer con las características propias de la vía y tiempo de espera del usuario o posibles factores que generan variabilidad en el sistema, que, a su vez, depende de factores que se clasificarán como variables y constantes que interactúan en el modelo que se va a construir. Dichas variables y constantes se clasifican de acuerdo con la información recopilada en el capítulo 2, allí se analiza el rango de acción de cada una, por lo cual, si es mínimo, se introducen como constantes al no tener una incidencia crítica.

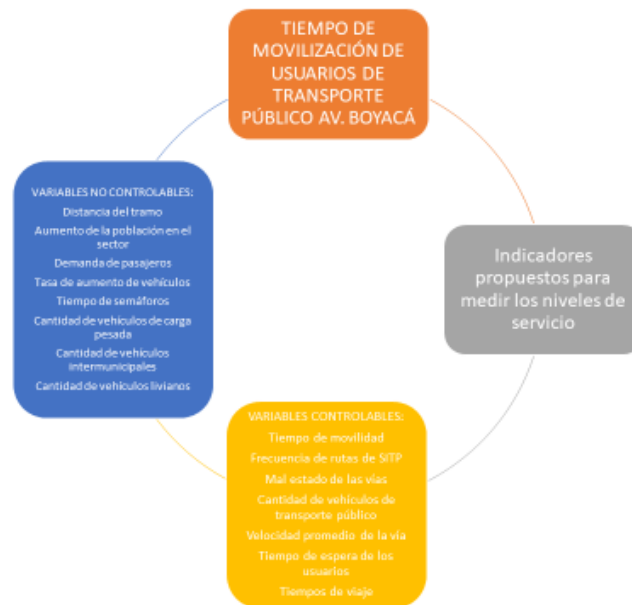
Realizando una identificación sobre los factores que se pueden intervenir para generar una posible solución e intervención para el trayecto estudiado, al ser los más factibles de modificar desde una perspectiva preliminar y de acuerdo con la información del capítulo 2, se realizará el posterior análisis de sensibilidad en el capítulo 5 interactuando con estos factores para revisar el comportamiento del modelo y proponer posibles estrategias de solución o mitigación del problema a estudiar. Estos factores son la cantidad y tiempo de todo rojo de semáforos, la cantidad de vehículos que transitan por la vía, la capacidad de vehículos, frecuencia, velocidad y estado de la vía. En el capítulo 4 se abordará el tema de manera más específica para su análisis y posterior estructuración del modelo.

4. PROPUESTA PARA ESTABLECER LOS INDICADORES DE FLUJO DE MOVILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA

Para la identificación de variables para establecen indicadores que midan los niveles de servicio, se clasifican en variables controlables y variables no controlables de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia.

Las variables controlables son aquellas en las que existe posibilidad de implementar estrategias para controlar o mitigar su impacto. En las variables no controlables se debe tener en cuenta la aceptación del impacto que generan para direccionar la solución en las variables controlables. (Véase la Figura 37).

Figura 37. Identificación de las variables del modelo actual.



Fuente. El Autor

Luego de identificar estos aspectos en las variables a utilizar en el sistema se procede a definir el indicador de tal forma en que se puedan cuantificar los niveles de servicio y así realizar una comparación entre el modelo actual y el modelo propuesto de movilidad. Los indicadores se presentan en la tabla a continuación especificando el nombre, objetivo y ecuación.

De acuerdo con lo observado con los datos obtenidos se formulan indicadores por el autor con respecto a las variables seleccionadas para realizar el análisis como se evidencia en el cuadro 8 para modelar el sistema.

Cuadro 8. Identificación de los indicadores de servicio.

Nombre	Objetivo	Ecuación
Tiempo total de viaje en el trayecto seleccionado	Medir el tiempo total que el usuario demora en realizar el trayecto	$T_T = T_e + T_v$ Donde: T_T : Tiempo total. T_e : Tiempo de espera. T_v : Tiempo de viaje.
Tiempo neto de viaje en el trayecto seleccionado	Medir el tiempo de viaje que el usuario gasta desde el momento en que accede al vehículo	$T_v = \left(\frac{X}{v_{prom}} + N_s * T_s \right) * (1 + \%_{acc} + \%_{ME})$ Donde: X : Distancia del trayecto. v_{prom} : Velocidad promedio de la vía. N_s : Número de semáforos en el trayecto T_s : Tiempo que se demora el semáforo en rojo.
Tiempo espera trayecto seleccionado	Medir el tiempo de espera que el usuario gasta hasta el momento en el que accede al vehículo.	$T_e = (F + T_s * (1 + \%_{acc} + \%_{ME}))$ Donde: F : Tiempo de frecuencia de rutas. T_s : Tiempo que se demora el semáforo en rojo. $\%_{acc}$: Porcentaje de accidentalidad. $\%_{ME}$: Porcentaje de mal estado de la malla vial.
Número de vehículos que inciden en la movilidad de la Avenida Boyacá en el trayecto.	Medir el nivel de congestión que se genera en la avenida.	$V_T = V_L + (V_{TC} + V_C + V_I + V_{TM})$ Donde: V_T : Número de vehículos que inciden en la movilidad. V_L : Número de vehículos livianos. V_{TC} : Número de vehículos de transporte colectivo V_I : Número de vehículos de transporte intermunicipal. V_{TM} : Número de vehículos de transporte masivo
Tasa de pasajeros que viajan en el trayecto seleccionado	Medir la demanda atendida en el sistema.	$\mu = D * \delta$ Donde: D : Demanda de pasajeros. μ : Tasa de pasajeros que viajan en transporte público. δ : Tasa de aumento poblacional

Fuente. El Autor

Luego de la etapa de identificación, se clasifican las variables que intervienen en la investigación entre variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares como se indica en la tabla de parámetros del modelo.

Cuadro 9. Parámetros del modelo

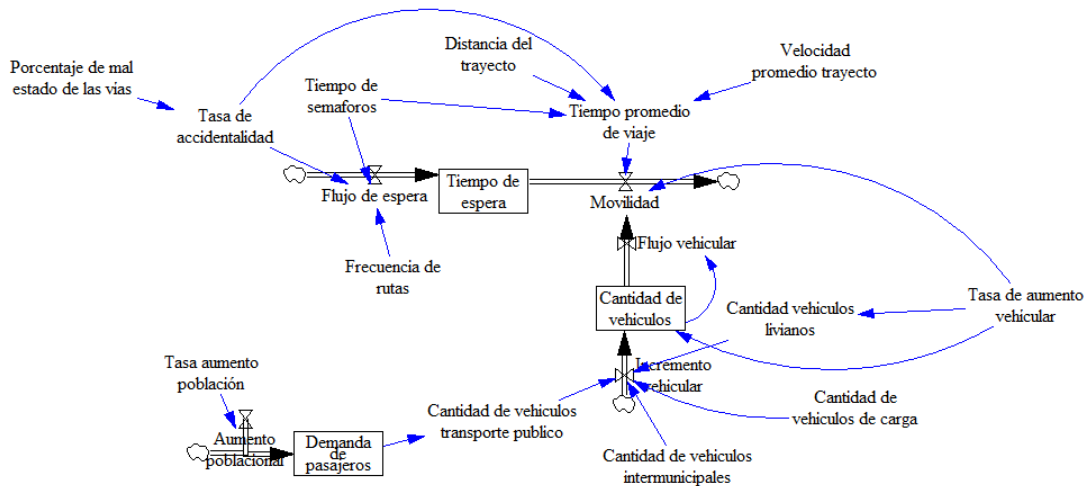
Nombre de la variable	Tipo de variable
Tiempo de espera	Variable de nivel
Demanda de pasajeros	
Cantidad de vehículos	
Cantidad de vehículos livianos	
Demanda del pasajeros	
Flujo de espera	Variable de flujo
Incremento vehicular	
Flujo vehicular	
Movilidad	
Aumento poblacional	
Tasa de aumento poblacional	Variable auxiliar
Cantidad de vehículos de transporte público	
Cantidad de vehículos intermunicipales	
Cantidad de vehículos de carga	
Tasa de aumento vehicular	
Tiempo promedio de viaje	
Distancia del trayecto	
Velocidad promedio de la vía	
Frecuencia de las rutas	
Tasa de accidentalidad	
Porcentaje de mal estado de las vías	
Tiempo de semáforos	

Fuente. El Autor

5. GENERACIÓN DEL MODELO DE OPERACIÓN DE TRÁFICO DE PASAJEROS DE TRANSPORTE PÚBLICO MEDIANTE DINÁMICA DE SISTEMAS Y HERRAMIENTAS DE MULTIANÁLISIS

Al realizar el respectivo análisis de factores y variables realizado visualmente por medio del diagrama causal en los capítulos anteriores, se formaliza el diagrama de Forrester con el cual se modela mediante el programa Vensim, obteniendo el anexo F que contiene la programación de las variables y el anexo G y H, en los cuales se plantea la ejecución del mismo. Se establecieron como parámetros iniciales un periodo inicial en el año 2019 y un periodo final 2030 con análisis de información anual.

Figura 38. Diagrama de Forrester



Fuente. El Autor

5.1. RESULTADOS OBTENIDOS.

De acuerdo con el modelo anterior se obtuvieron los siguientes datos tomando con principal relevancia las variables resumidas en el cuadro 10

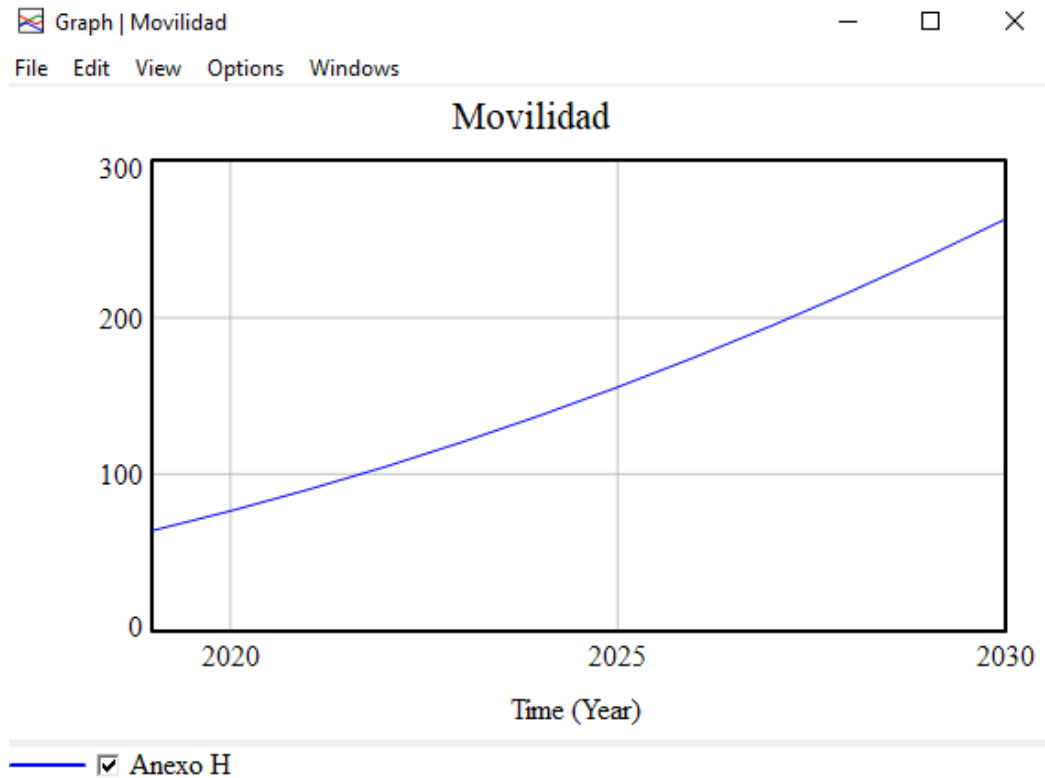
Cuadro 10. Resultados variables de nivel

Time (Year)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Movilidad : Anexo H.vdfx	64	76.4537	90.031	104.732	120.557	137.505	155.578	174.775	195.096	216.541	239.111	262.805
Tiempo de espera : Anexo H.vdfx	4	138.151	2637.46	48982.6	908133	58349e+07	12081e+08	78527e+09	07246e+11	9881e+12	58549e+13	6.83206e+
Tiempo promedio de viaje : Anexo H.vdfx	64	76.2207	88.4414	100.662	112.883	125.103	137.324	149.545	161.765	173.986	186.207	198.427
Cantidad de vehículos : Anexo H.vdfx	0	2863.25	19534.9	50016	94307.7	152411	224328	310058	409603	522965	650144	791142
Cantidad de vehículos transporte público : Anexo H.vdfx	17347.9	17416.4	17484.9	17553.3	17621.8	17690.2	17758.7	17827.1	17895.6	17964.1	18032.5	18101
Demanda de pasajeros : Anexo H.vdfx	16243.4	16311.8	16380.3	16448.8	16517.2	16585.7	16654.1	16722.6	16791	16859.5	16928	16996.4
Cantidad vehículos livianos : Anexo H.vdfx	0	166295	332589	498884	665179	831473	997768	16406e+06	33036e+06	49665e+06	56295e+06	1.82924e+

Fuente. Vensim

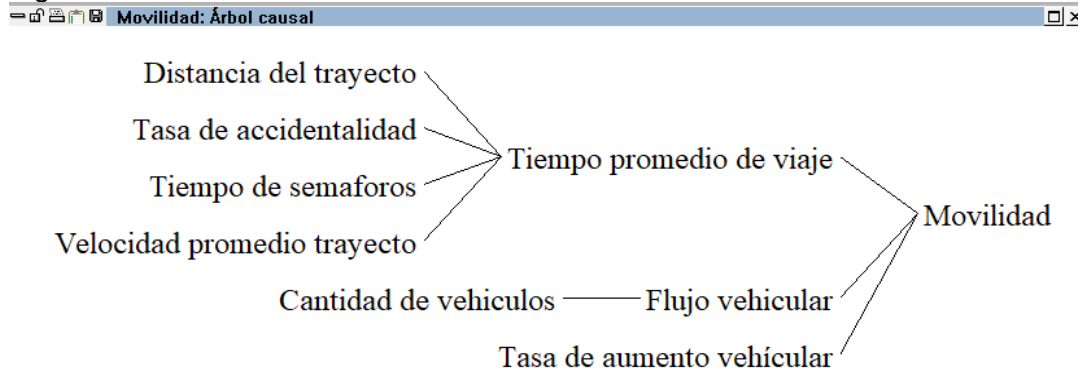
Como principal variable a estudiar se observa el comportamiento del tiempo de movilidad en la figura 39, el programa Vensim, en la cual se evidencia comportamiento de esta variable es lineal muy similar al del tiempo de viaje, por lo cual se puede realizar controles e implementar estrategias para mitigar su impacto. El programa Vensim, además, realiza diagramas de árbol causal (véase figura 40), de bucles, y realiza comparativos entre gráficas para las variables que dependen de otras variables.

Figura 39 Tiempo de movilidad



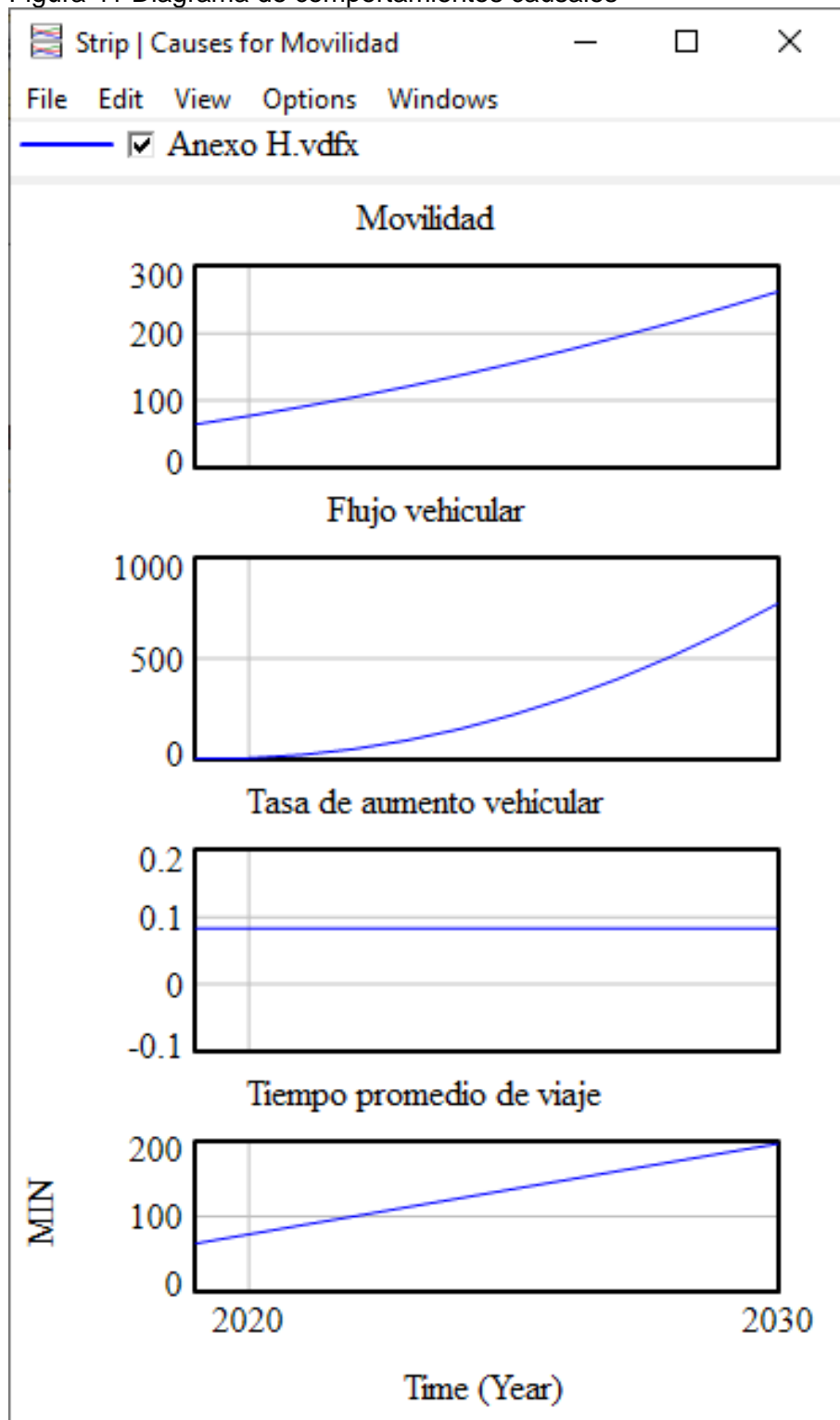
Fuente. Vensim

Figura 40 Árbol causal de movilidad



Fuente. Vensim

Figura 41 Diagrama de comportamientos causales

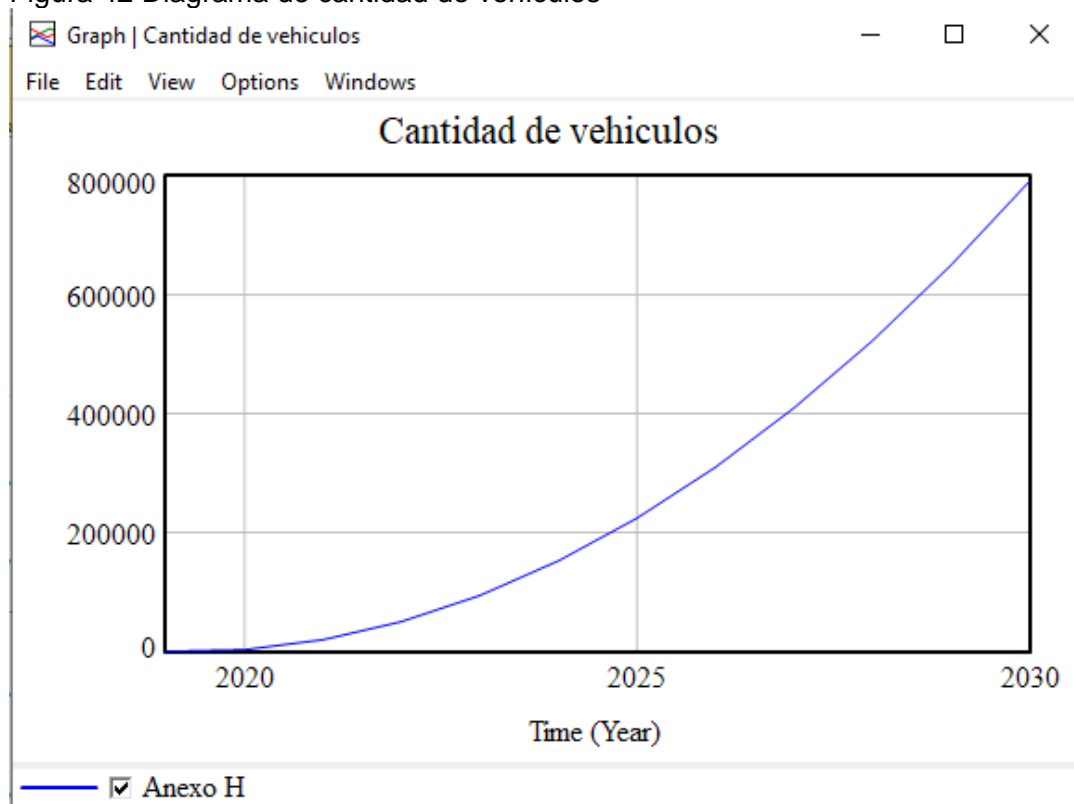


Fuente. Vensim

El comportamiento del tiempo de movilidad y el tiempo de viaje tienen elementos similares en los datos obtenidos por el programa, por lo cual al implementar una estrategia para la reducción de esta variable va a generar un cambio significativo en el comportamiento del tiempo de movilidad. Asimismo, el Árbol de causas permite ver que una reducción de velocidad en el tramo estudiado es causada por la semaforización de la vía. Sin embargo, la construcción de puentes vehiculares en las intersecciones genera altos costos y demoras en la movilidad, y al ser este un corredor vial principal se generaría aún más congestión, Estas soluciones a largo plazo deben ser ejecutadas en la ciudad de Bogotá.

En el diagrama 42 se observa el crecimiento de manera exponencial de la cantidad de vehículos, que en este caso depende principalmente del comportamiento de la cantidad de vehículos livianos.

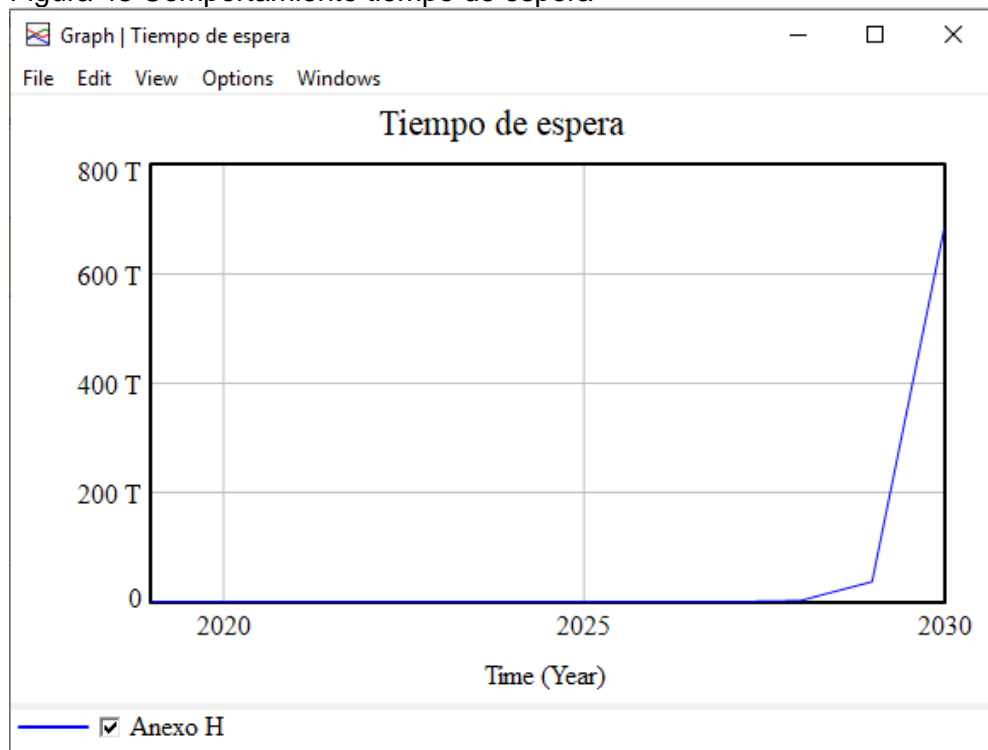
Figura 42 Diagrama de cantidad de vehículos



Fuente. Vensim

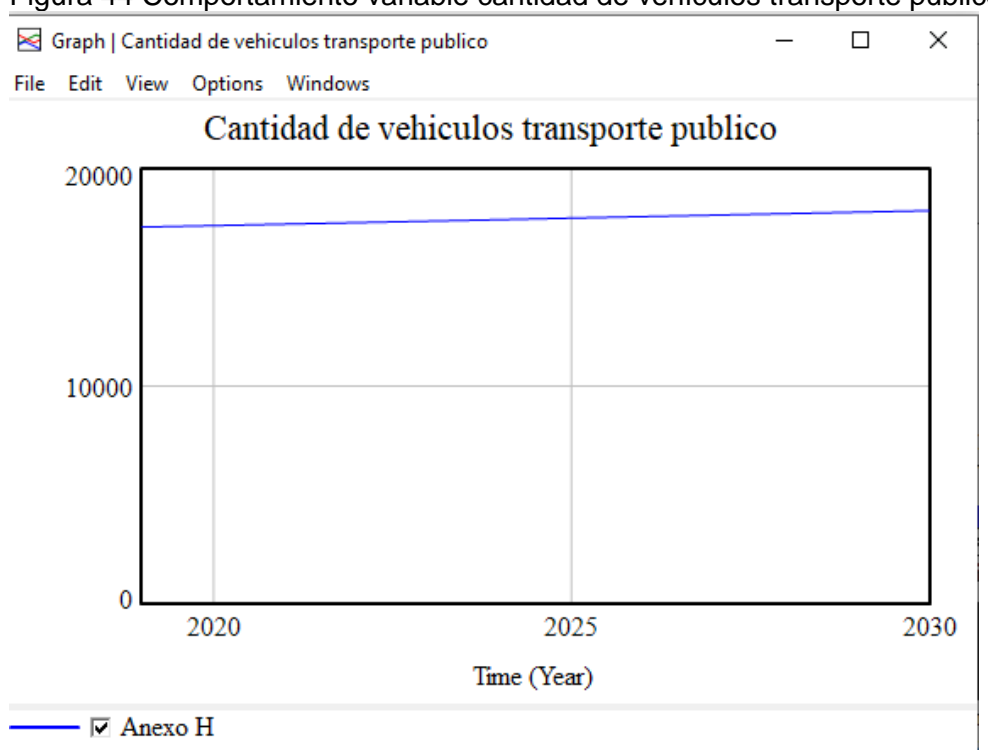
Se observa en el modelo propuesto que el comportamiento del tiempo de espera es inconsistente y elevado para el año 2030, existe un cambio brusco de pendiente después de esta fecha. De acuerdo con lo anterior se recomienda utilizar el modelo propuesto para un periodo menor de 10 años.

Figura 43 Comportamiento tiempo de espera



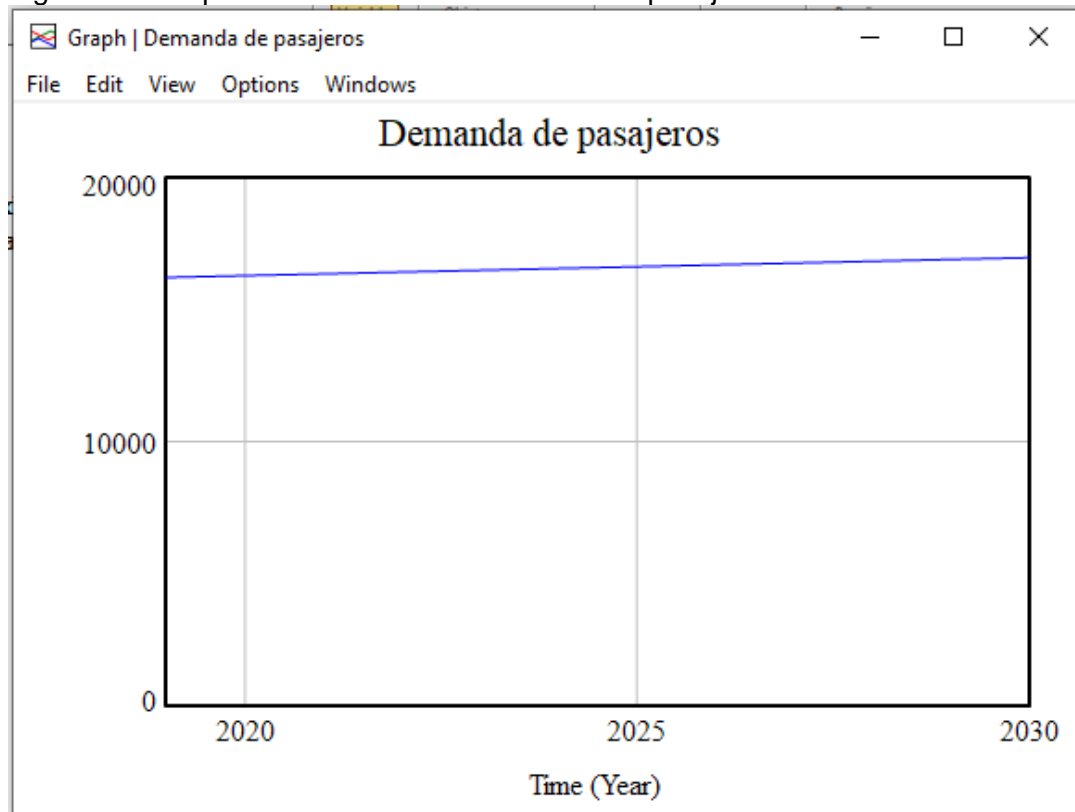
Fuente. Vensim

Figura 44 Comportamiento variable cantidad de vehículos transporte público



Fuente. Vensim

Figura 45 Comportamiento variable demanda de pasajeros



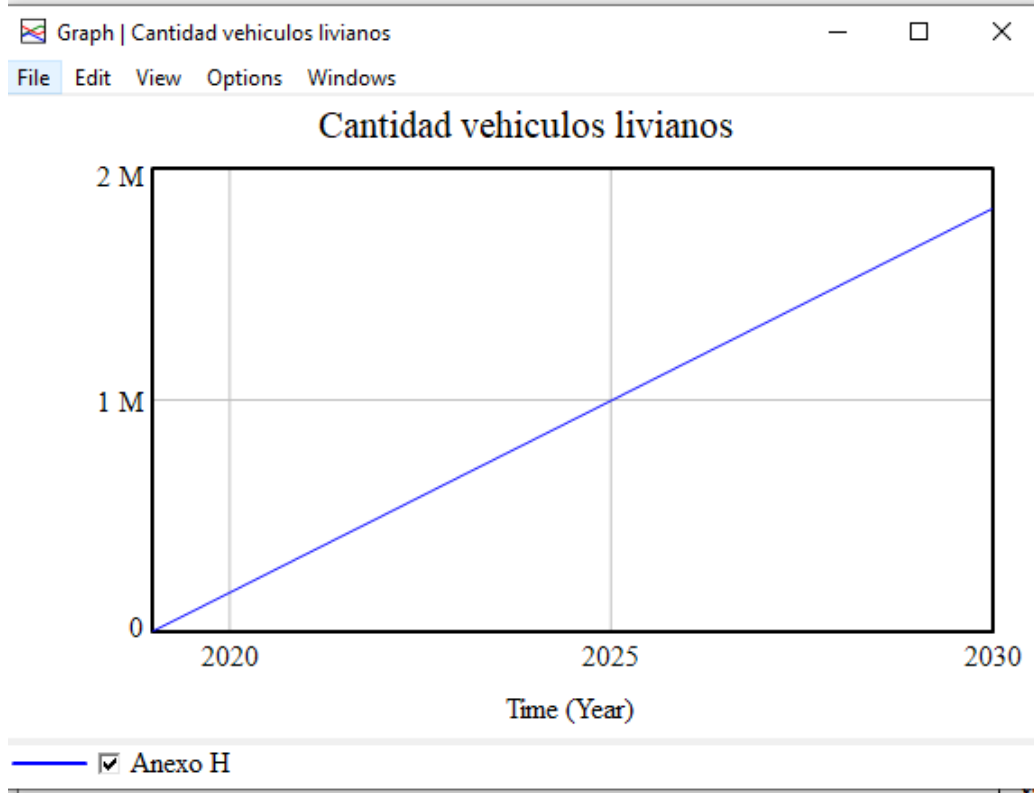
Fuente. Vensim

En las figuras 44 y 45 se observa la dependencia de la cantidad de vehículos de transporte público con respecto a la demanda, sin embargo, en los últimos años, la migración hacia la ciudad de ciudadanos de diversos sitios de Colombia y el mundo no permite una información exacta y el comportamiento de la población no es lineal y al ser mucho más informal el ingreso al país por las fronteras no permite un adecuado control del mismo.

La pendiente mucho más pronunciada de la figura 46 indica el crecimiento del parque automotor privado, siendo este uno de los factores que influyen en la baja movilidad de los usuarios de transporte público, En la ciudad de Bogotá, existe como principal estrategia de control de movilización el “pico y placa”, no obstante, esta medida generó un aumento en la compra de vehículo privado y en estos momentos es obsoleta. La cantidad de vehículos en la vía presenta una disminución en el flujo de movilidad, por lo cual se deben generar controles más estrictos.

Uno de los controles ya existentes para la movilización de vehículos es el denominado revisión tecno mecánica y a pesar de que es obligación para movilizarse, es altamente incumplido e incluso de alta corruptibilidad.

Figura 46 Comportamiento variable cantidad de vehículos transporte livianos



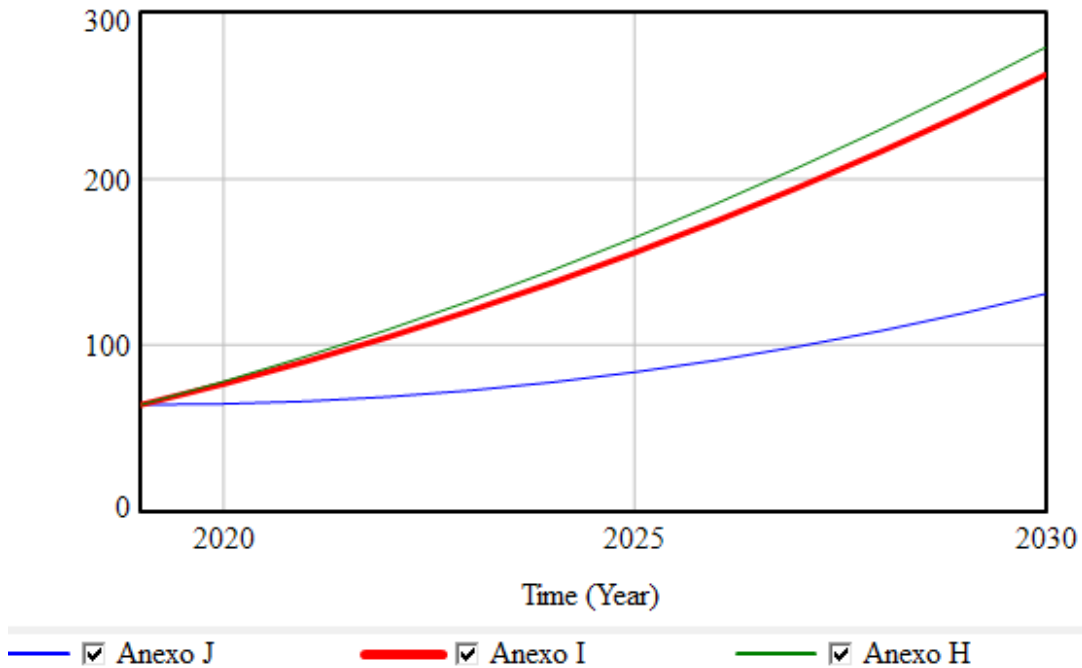
Fuente. Vensim

El modelo tiene algunas variables en las que el comportamiento cumple con los datos obtenidos en los capítulos anteriores, sin embargo y a pesar de la cercanía de los datos, el modelo no tendrá eficacia del 100% para predecir el comportamiento de la movilidad porque en la variable tiempo de espera existe alta variación y no existe un comportamiento uniforme.

5.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

En el análisis de sensibilidad se realizará la revisión de la interacción de las variables del modelo identificadas en el capítulo 3 para observar como con la modificación de estos factores pueden incidir en el comportamiento del sistema. El programa analiza elementos con unidades en específico, por lo cual todos los elementos se analizaron con unidades de tiempo, en específico minutos. Asimismo, el programa permite hacer modificaciones al modelo para realizar una propuesta y observar el comportamiento gráfico de ambos elementos. En la figura 47 se visualiza la variación del modelo con respecto a la cantidad de semáforos existentes.

Figura 47 Comparación modelo sin semaforización del tramo
Movilidad



Fuente. Vensim

En el caso del cuadro 11 se observa la disminución del tiempo de movilidad si se elimina 1 o los 9 semáforos de la vía y se construyen pasos vehiculares como puentes o túneles, habría una reducción del tiempo en el primer año del 1.92% en la reducción de un semáforo y del 17.31% en la reducción de los 9 semáforos existentes.

Cuadro 11 Comparación de valores de variable movilidad con respecto a variable semáforos.

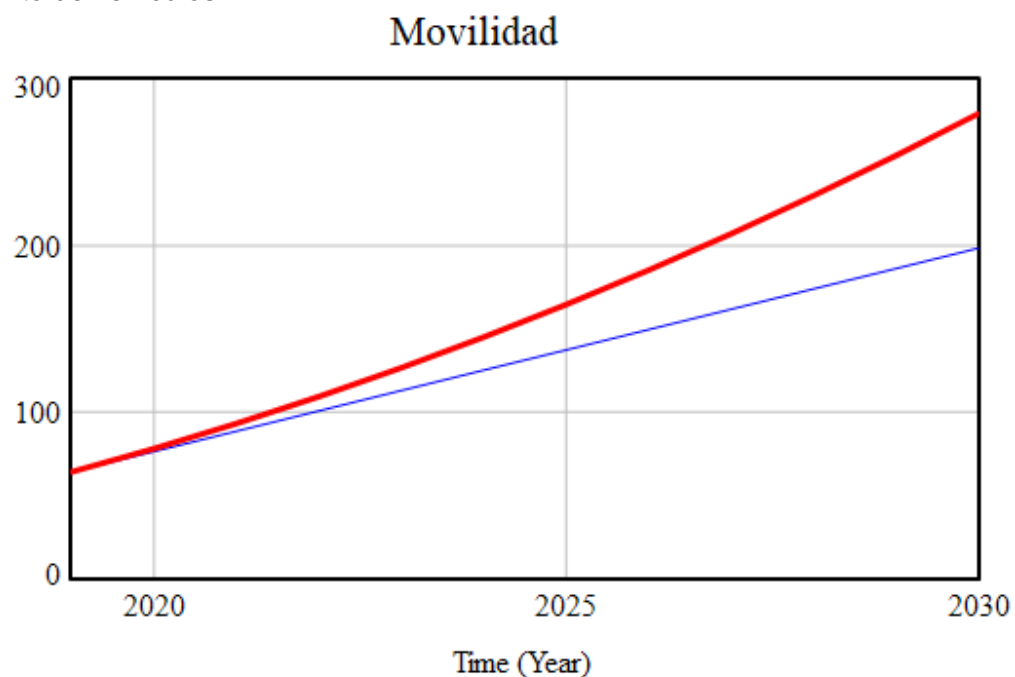
Time (Year)	"Movilidad"	Movilidad		
2019	Se ejecuta:	64	64	64
2020	Anexo J	64.4537	76.4537	77.9537
2021	Anexo I.vdfx	66.031	90.031	93.031
2022	Anexo H.vdfx	68.732	104.732	109.232
2023		72.5568	120.557	126.557
2024		77.5055	137.505	145.005
2025		83.5782	155.578	164.578
2026		90.7749	174.775	185.275
2027		99.0959	195.096	207.096
2028		108.541	216.541	230.041
2029		119.111	239.111	254.111
2030		130.805	262.805	279.305

Fuente. Vensim

Asimismo, el tiempo de movilidad para el año 2030 se reduciría con la eliminación de un semáforo un 5.91% y la eliminación de todos los semáforos generaría una mejoría en el tiempo de movilidad del 53.16%.

La eliminación de semáforos es uno de los factores que reducirían en un gran porcentaje el tiempo de movilidad, sin embargo, la construcción de infraestructura vehicular para generar continuidad en la vía es una opción a largo plazo y con altísimos costos, por lo cual a pesar de ser la más acorde con las necesidades no es factible económicamente.

Figura 48 Comparación variable movilidad modificando los valores de tasa de aumento de vehículos.



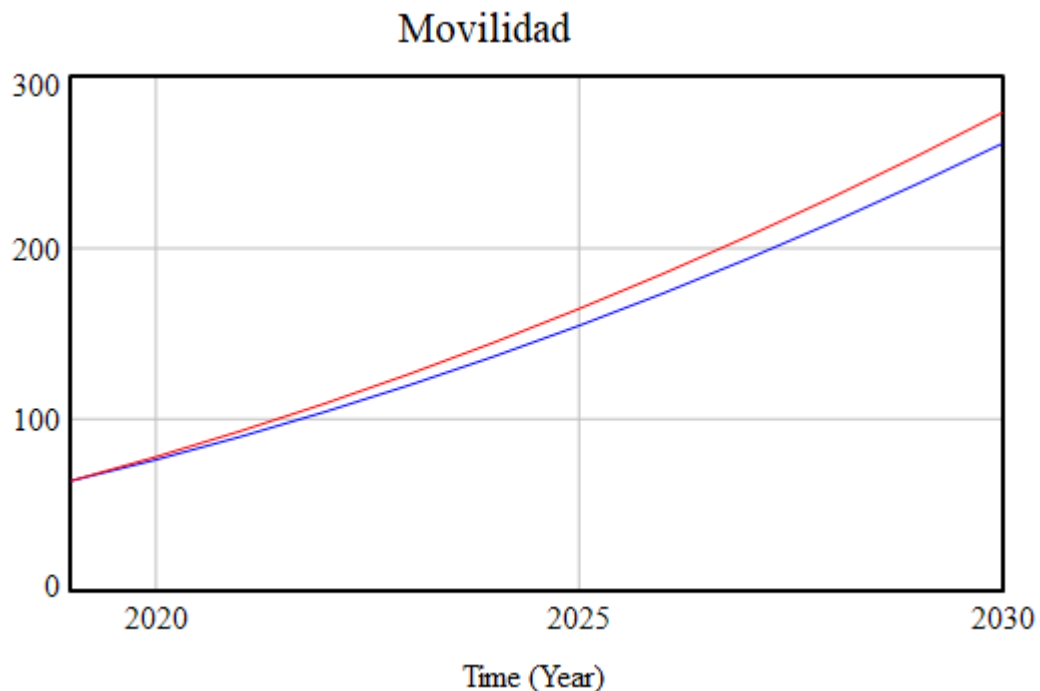
Fuente. Vensim

En la figura 48 se realiza la interacción del modelo con respecto al factor de aumento de vehículos, en el cual se observa en la línea del modelo original (Color naranja) un comportamiento exponencial, mientras en el modelo en el que se disminuyó la tasa de aumento de vehículos acercándola a 0 (Color Azul) el comportamiento de la gráfica es lineal, por lo cual se pueden buscar estrategias de control en la cantidad de vehículos que se movilizan en el tramo estudiado para que disminuir el tiempo de movilidad de los pasajeros.

Estas estrategias, algunas existentes en ciudades extranjeras que limitan entrada de vehículos intermunicipales, interconectando los sistemas de transporte público de la ciudad y los terminales de transporte ubicados en los extremos de la ciudad. De igual forma, identificando las horas en las que los

vehículos de transporte de carga ingresan, evitando las horas pico. También se puede generar normativas sobre tiempos de vida de los vehículos y rigurosidad en chatarrización y certificados de gases.

Figura 49 Comparación variable movilidad modificando los valores de porcentaje de mal estado de las vías.



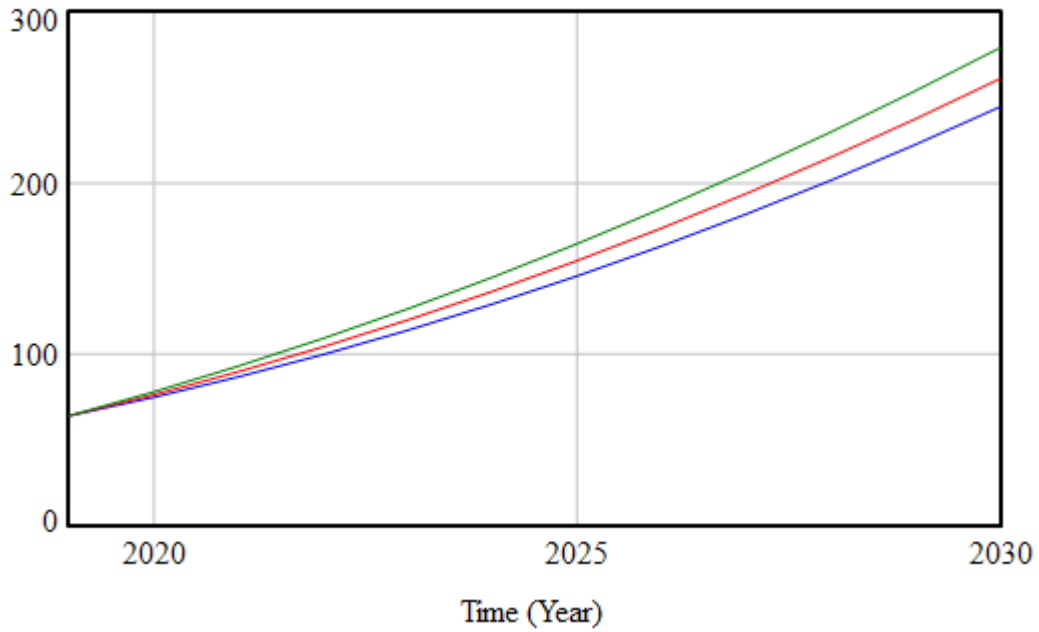
Fuente. Vensim

Como se observa en la figura 49, se realiza un análisis con respecto a la variable mal estado de las vías, en la cual se observa una disminución en los tiempos de movilidad del tiempo estudiado en un 6,47% si se interviene la vía en su totalidad, lo cual, en estrategias a corto plazo y con un mínimo de costos sería mucho más factible, pues aumentaría el promedio de velocidad, disminuiría la tasa de accidentalidad y por ende modificaría la dinámica del sistema para hacerlo más productivo.

Por último, se realiza una interacción entre dos factores, reduciendo el número de semáforos de 9 a 7 (implementando infraestructuras que ya están proyectadas como la que se está construyendo en el semáforo existente en la avenida mutis o calle 63) y arreglando las vías de tal forma en que el porcentaje de vías en mal estado sea 0% como se observa en la figura 51, obteniendo una mejoría del 9,12% en el año 2030 en los tiempos de movilidad de pasajeros. La curva azul representa la interacción entre los 2 factores, la curva naranja modificando solamente el porcentaje de mal estado de la vía y la curva verde siendo el modelo original.

Figura 50 Comparación variable movilidad modificando los valores de porcentaje de mal estado de las vías y cantidad de semáforos.

Movilidad



Fuente. Vensim

6. CONCLUSIONES

Se observa que la información estadística proveniente del DANE y la Secretaría de Distrital de Movilidad tiene variación de conceptos, por lo cual, a pesar de ser datos oficiales tienen alta incertidumbre con respecto a la realidad, teniendo en cuenta las dinámicas poblacionales actuales como migración masiva local y extranjera, población flotante, y con respecto al transporte de pasajeros, no tiene en cuenta nuevas tendencias de transporte por medio de aplicativos móviles.

Se evidencia la necesidad de implementar rutas alternativas que realicen una interconexión de las troncales en la zona occidente de la ciudad, pues la mayoría de la población se ha ido concentrando en localidades como Suba y Kennedy. Esto indica que las avenidas, a pesar de tener rutas de SITP no tienen una capacidad suficiente para abastecer el sector y además que los transbordos generan aumento en los tiempos totales de viaje. De acuerdo con lo anteriormente planteado, se propone realizar un sistema híbrido similar al existente en la avenida séptima, que implemente la posible interconexión del sistema en dicho sector, en las troncales Norte (B), Tunal (H), Américas (F), Dorado (K) calle 80 (D).

Con respecto a la deficiencia de la infraestructura vial y la semaforización en vías arterias, es necesario que, en la ciudad de Bogotá, en corredores viales como la Avenida Boyacá se realicen estrategias a mediano y largo plazo para mejorar la movilidad como infraestructuras de interconexión como puentes, glorietas y deprimidos viales en las intersecciones del tramo con semaforización. Asimismo, se debe mitigar la incidencia del tráfico mixto, regulando la cantidad de entrada de los vehículos de transporte intermunicipal y modificando la normativa de tránsito de vehículos de carga pesada.

En el estudio planteado se observó el comportamiento del tránsito suprimiendo la variable semáforos, y a pesar de ser una estrategia a largo plazo mejoraría la calidad del servicio actualmente presentado, disminuyendo tiempos de movilidad en un 49% aproximadamente. Sin embargo, al ser una estrategia a largo plazo y además con altos costos se considera no factible para solucionar el sistema, por lo cual se podría pensar en realizar la planeación de una o dos estructuras viales y así se reduciría entre el 5 y el 10% de los tiempos de movilidad. Asimismo, se pueden generar estrategias interactuando entre más de una variable para optimizar los costos y que se vuelva mucho más factible económicamente en la generación de proyectos y posterior implementación por parte del gobierno local, si así se requiriera.

Las estrategias a corto plazo implementadas en la ciudad a inicios de siglo como el “pico y placa”, a pesar de las modificaciones legislativas realizadas conforme al paso del tiempo, no dan abasto por el aumento del parque automotor de la ciudad. Se propone implementar estrategias normativas de compra y venta de vehículos usados para regular el aumento del parque automotor, así como chatarrización y rigurosidad en normativas de emisión de gases.

El tiempo de espera de los usuarios es la variable del estudio con un comportamiento no uniforme, por lo cual se concluye que debe ser un factor a tener en cuenta en la planeación del sistema, ya sea para la modificación y mejoramiento de las rutas actuales o la implementación de nuevas rutas. Con respecto a la frecuencia de las rutas, en este modelo se realizó un promedio del mismo con datos propuestos por el sistema, sin embargo, en la actualidad no se cumplen estos ciclos de una manera estricta por factores humanos y operativos y ajenos al funcionamiento propio del sistema como lo realiza el modelo, por lo tanto, se toman estos datos promedio como referencia para analizar a futuro las posibles soluciones que se pueden considerar por parte del gobierno local.

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con la realización del proyecto en curso y la información recolectada en las diferentes entidades se realizan las siguientes recomendaciones:

Al realizar este estudio se estableció un análisis preliminar de los diferentes actores que inciden en la avenida Boyacá, encontrando un tráfico mixto con alto flujo de vehículos de carga pesada y de flotas intermunicipales que conectan el terminal del salitre con la salida norte de la ciudad de Bogotá. Es por esto que se debe ser riguroso en el momento de la realización de modelos estadísticos y operativos por parte de los entes gubernamentales y tener los estudios adecuados sobre normativas de ingreso de flotas de carga pesada y flotas intermunicipales, a los cuales se debe ampliar mediante investigaciones que aborden estos temas de manera directa en la ciudad de Bogotá, al existir muy poca información relacionada.

De acuerdo con la información recolectada, la oferta de vehículos para el transporte de pasajeros, se observa la disminución de los vehículos de transporte no incorporados al sistema para el año 2021, por lo cual es necesaria la adquisición de nuevas flotas adecuadas con la tecnología de los vehículos que actualmente hacen parte del sistema, se sugiere a la administración local la implementación de un sistema híbrido de transporte para interconectar con el sistema de transporte masivo. De esta forma, se pueden unificar y remplazar rutas que realizan el mismo recorrido en el tramo estudiado.

De igual forma y como resultado de este estudio, se observa la necesidad de intervención de mejoras locativas, planeación y construcción de infraestructura vial y reestructuración de diseños por parte de los gobiernos locales para evitar los reprocesos y no satisfacción de los usuarios en los sistemas de transporte implementados, que, si bien son una forma eficaz de control de transporte, terminan viéndose afectados por factores políticos.

Con respecto a las variables que no pueden ser controladas y que tienen una incidencia directa en el estudio, se sugiere a entidades como la alcaldía y las secretarías distritales la implementación de campañas y políticas públicas de planificación para mantener un nivel constante de población en las zonas estudiadas.

BIBLIOGRAFÍA

ALFONSO AGREDO, Karent Tatiana. Modelación de la operación nacional e internacional de tráfico aéreo de pasajeros en el aeropuerto el dorado empleando dinámica de sistemas. [En línea]. Bogotá. 2018. [Citado 22 de agosto de 2019]. Vol. 15, no. 2, p. 2017–2019. Disponible en internet: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1101&context=ing_industrial>

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Decreto 190 de 2004. 2004. [Citado 22 de agosto de 2019]. Disponible en internet: <<http://www.sdp.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/decreto-190-de-2004>>

ALCALDIA DE BOGOTA. Decreto 309 de 2009. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <https://www.simbogota.com.co/pdf/Decretos/2009_DECRETO_309_SITP.pdf>

ANZOLA PARRA, Diego Felipe. Análisis de la cobertura del sistema de transporte masivo en la ciudad de Bogotá. 2017. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17276/AnzolaParrDiegoFelipe2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

ARANCIL, Javier. Introducción a la Dinámica de sistemas. 1995. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<http://www.repositorio.cenpat-conicet.gov.ar/bitstream/handle/123456789/458/introduccionALaDinamicaDeSistemas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

ARDILA GÓMEZ, Arturo. La olla a presión del transporte público en Bogotá. rev.ing. [online]. 2005. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-49932005000100006>

ARIMANY, Luis. La Gestión del tiempo. [online]. 2017. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.luisarimany.com/la-gestion-del-tiempo/>>

ARMIJOS CURIPOMA, Marlon Santiago y RAMIREZ MORENO, Raúl Orlando. Diseño de un teleférico turístico de 2000 metros de longitud ubicado en la colonia Los Llaganates de la parroquia Rio Negro, Cantón baño, Provincia de Tungurahua. [En línea]. Bogotá. 2009. [Citado 21 de febrero de

2020]. Disponible en internet:
<<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1622/1/CD-2282.pdf>>

ASPILLA LARA, Yefer y REY GUTIÉRREZ, Eladio. La implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) de Bogotá y sus retos en el futuro. Revista Tecnogestión [En línea]. 2012. Vol. 9, no. 1, p. 26–40. Disponible en internet:
<https://www.researchgate.net/publication/310514617_La_implementacion_del_Sistema_Integrado_de_Transporte_Publico_SITP_de_Bogota_y_sus_retos_en_el_futuro_The_Implementation_of_Integrated_Public_Transport_System_SITP_of_Bogota_and_its_Challenges_in_the>

ATLAS ID. Cobertura de transporte público urbano. [online]. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet:
<<https://atlasid.planificacion.gob.ar/indicador.aspx?id=97>>

BOGOTÁ COMO VAMOS. Preocupa crecimiento de parque automotor en Bogotá. [En línea] Disponible en internet:
<<http://www.bogotacomovamos.org/blog/preocupa-crecimiento-de-parque-automotor/>>

CABRERA, Martha Lucia y GUERRERO, Johanna. Evaluación de la efectividad de la medida del pico y placa en Bogotá D.C. [En línea]. 2005. P. 23–24. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet:
<<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7006/tesis111.pdf?sequence=1>>

CALDERÓN AYALA, Stefanny y Porras Almanza, Ivonne Andrea. Modelamiento del sistema de transporte de la flota alimentadora del portal de la 80 en Transmilenio s.a., empleando dinámica de sistemas. 2013, [En línea]. Disponible en internet:
<<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9396/Proyecto%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

CAMARA DE COMERCIO. La competitividad de Bogotá en el marco del POT. 2017. [En línea]. Bogotá. Disponible en internet:
<<http://hdl.handle.net/11520/19282>>

CAPOTE, Jorge A. ABREAU, Orlando V. ALVEAR, Daniel. HERRERA, Guillermo. ABAD, Marta. GUTIERREZ, Ana I. Los Modelos de Simulación Computacional de Incendios: Ciclo de Vida. [En línea]. 2004. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Alvear/publication/242583421_Los_Modelos_de_Simulacion_Computacional_de_Incendios_Ciclo_de_Vida>

</links/00b7d52de9db02dbf3000000/Los-Modelos-de-Simulacion-Computacional-de-Incendios-Ciclo-de-Vida.pdf>>

CARACOL. Exceso de velocidad en Avenida Boyacá deja 21 personas fallecidas, [En línea]. Bogotá: el tiempo. [Citado el 10 de septiembre del 2019]. Disponible en internet: <https://caracol.com.co/emisora/2016/09/21/bogota/1474487585_640991.html>

CHALOUPKA, Erika. La gestión del transporte público urbano de pasajeros en la ciudad de Rosario a partir del diseño e implementación del Plan Integral de Movilidad. [En línea]. Bogotá. [Citado 27 de febrero de 2020]. 2015. Disponible en internet: <<https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/5624/TESINA%20Erika%20Chaloupka.pdf?sequence=3&isAllowed=y>>

CHÁVEZ GUILLÉN, Ronaldo M. Dinámica de sistemas [online]. 2010. [En línea]. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.educaunica.galeon.com/cursos/silabo_diapositiva/Causal.pdf>

CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Ley 310 de 1996. 1996. Por medio del cual se modifica la Ley 86 de 1989. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0310_1996.html>

CORREA R, Juan Santiago. Transporte y desarrollo urbano en Colombia: 2017. ISBN 9789588988092.

CUBAQUE PORRAS, Lorenzo Duban y VELANDIA MEDINA, Jairo Alfonso. Análisis preliminar de implementación de la red ferroviaria existente al sistema integrado de transporte público (SITP) para Bogotá. presentado. 2018. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://repository.ucatolica.edu.co/jspui/handle/10983/16349>>

DA SILVA, Carlos. Historia de la dinámica de sistemas. [online]. 2012. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<http://dinamicadesistemasudo.blogspot.com/2012/07/historia-de-la-dinamica-de-sistemas.html>>

DÍAZ ACOSTA, Javier y ESPITIA PEÑA, Gladys. Lineamientos para la mejora del sistema de gestión de la calidad en entidades responsables de la movilidad en el Distrito Capital *. 2015. Vol. 7, p. 41–62.

DUARTE FORERO, Edgar Leonardo. El Transporte Público Colectivo en Bogotá, D.C.: Una Mirada desde la Dinámica de Sistemas. 2011. Vol. 16, no. 2, p. 18–34.

EL TIEMPO. Bogotanos pasan veinte días al año en bus. El Tiempo [online]. 2016. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://www.eltiempo.com/bogota/bogotanos-pasan-veinte-dias-al-ano-en-bus-34028>>

EL TIEMPO. Bogotá ya tiene quien construya y opere la primera línea del metro. [En línea]. Bogotá. 2019. [Citado 19 de febrero de 2020]. Disponible en internet: <<https://www.eltiempo.com/bogota/todo-sobre-la-adjudicacion-de-la-primera-linea-del-metro-de-bogota-424294>>

EL TIEMPO. Este es el top cinco de las vías más peligrosas de Bogotá Cifras de Accidentes de Tránsito en Bogotá entre 2015 y 2016, [En línea]. Bogotá: el tiempo. [Citado el 10 de septiembre del 2019]. Disponible en internet: <<https://www.eltiempo.com/bogota/vias-mas-peligrosas-de-bogota-la-boyaca-es-la-principal-en-accidentalidad-264240>>

FORRESTER, Jay W. System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. [En línea]. 1994. [Citado 21 de abril de 2020]. Disponible en internet: <<http://static.clexchange.org/ftp/documents/roadmaps/RM7/D-4405-1.pdf>>

GRÜTTER, Jürg. Rendimiento Real de Buses Híbridos y Eléctricos. 2015. P. 39. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.repic.ch/files/4414/4126/7584/Grutter_FinalReport_esp_web.pdf>

HERNÁNDEZ BONIVENTO, José Andrés. Diseño institucional y descentralización territorial en Bogotá, Distrito Capital. 2017. P. 121–144.

INGENIERIA INDUSTRIAL ONLINE. Medios y gestión del transporte [En línea]. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/medios-y-gesti%C3%B3n-del-transporte/>>

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, Visor_Malla_Vial_2019, [Documento electrónico Excel]. Bogotá D.C. 2019. Estadísticas 2019 malla vial.

KASPERSKA, Elżbieta. KASPERSKI, Andrzej. MATEJA-LOSA, Elwira. Sensitivity analysis and optimization on some models of archetypes using Vensim – theoretical issue. [En línea]. 2013. Disponible en:

https://www.ue.katowice.pl/fileadmin/_migrated/content_uploads/3_E.Kasperska_A.Kasperski_E.Mateja-Losa_Sensivity_analysis...pdf>

LA FM. Totalidad del Sitp provisional estará listo hasta el 2021. [Citado 19 de noviembre de 2019] 2019. [En línea] Disponible en: <<https://www.lafm.com.co/bogota/totalidad-del-sitp-provisional-estara-listo-hasta-el-2021-distrito>>

LA OPINIÓN. Conoce los límites de velocidad en Estados Unidos. [online]. 2017. [Citado 25 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://laopinion.com/2017/06/29/conoce-los-limites-de-velocidad-en-estados-unidos/>>

LOGISTICAMX.ENFASIS.COM. La importancia de la gestión del talento en la empresa. [En línea]. México. Disponible en internet: <<http://www.marketing-consulting.es/la-importancia-de-la-gestion-del-talento-en-la-empresa>>

MALDONADO CARRASCO, Ana Grisel. La multimodalidad en México. Comercio Exterior. 2008. Vol. 58, p. 720–730. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/119/5/730_Multimodal_Mex.pdf>

MARTÍN, J. La toma de decisiones empresariales en un mundo complejo. La Teoría General de Sistemas. [En línea]. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<https://psicolibro.wordpress.com/2008/08/18/sysware-la-toma-de-decisiones-empresariales-en-un-mundo-complejo/>>

MERCADO POLO, Darwin Ramiro, SEPÚLVEDA OJEDA, Jorge Antonio, PEDRAZA CABALLERO, Luis Eduardo y HERNÁNDEZ PALMA, Hugo G. Modelo de implementación de tic en el sector transporte de la ciudad de Barranquilla utilizando dinámica de sistemas. Dimensión Empresarial. 2015. Vol. 12, no. 1, p. 36. [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4738562>>

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Gobierno nacional celebra la adjudicación de Regiotram de occidente. [En línea]. Bogotá. 2019. [Citado 19 de febrero de 2020]. Disponible en internet: <<https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8030/gobierno-nacional-celebra-la-adjudicacion-del-regiotram-de-occidente/>>

MOLINA, Martín. An Intelligent Assistant for Public Transport Management. [En línea]. 2005. Bogotá. [Citado 21 de abril de 2020]. Disponible en internet: <<http://oa.upm.es/14202/1/preprint.pdf>>

MONTEZUMA, Ricardo. La ciudad del tranvía, 1880-1920. 2008.

MOSCOSO G., July, PERDOMO P., Lady J., PERDOMO M., Mileidy y MAYORGA T., Oscar. Modelado de sistemas de transporte masivo empleando dinámica de sistemas: caso Transmilenio S.A. La Dinámica de Sistemas: Un Paradigma de Pensamiento. 2011. P. 5 [Citado 22 de agosto de 2019] Disponible en internet: <https://www.urosario.edu.co/urosario_files/d7/d7a4cd70-169b-4124-9393-62e4914201dc.pdf>

OROZCO, Juan Sebastián y ARENAS, Fernando Antonio. Aproximación al desarrollo de un sistema de transporte masivo a través de la dinámica de sistemas. Sistemas & Telemática [online]. 2013. Vol. 11, p. 91–106. [Citado 22 de agosto de 2019]

PALAU, Javier Jolonch. Análisis del transporte masivo y la movilidad en Bogotá. Universidad & Empresa, 2013, vol. 15, no 24, p. 15-23.

RCN RADIO. Tres localidades en Bogotá ya cuentan con semáforos 'inteligentes'. [Online, 20 de noviembre del 2019]. Disponible en: <<https://www.rcnradio.com/bogota/tres-localidades-en-bogota-ya-cuentan-con-semaforos-inteligentes> >

RECAUDO BOGOTÁ S.A.S. Horarios y Frecuencias de las Rutas del SITP. [En línea] Disponible en internet: <<https://www.tullaveplus.com/web/public/frecuencias-y-horarios>>

REPÚBLICA, Banco de la. Exposición. [online]. 2006. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/exhibiciones/ferrocarriles/menu.htm>>

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. 50 kilómetros por hora, el nuevo límite de velocidad en cinco corredores de la ciudad. [Online], [20 de noviembre del 2019]. Disponible en: <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/Noticia/50_kil%C3%B3metros_por_hora_el_nuevo_l%C3%ADmite_de_velocidad_en_cinco_corredores_de_la_ciudad>

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Movilidad Cifras 2015. [En línea] Disponible en internet: <https://www.movilidadbogota.gov.co/web/SIMUR/ARCHIVOS/Movilidad_Cifras_2015_V4_marzo2017.pdf>

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Observatorio de movilidad. 2017. [Citado 20 de octubre de 2019]. Bogotá. Disponible en internet: <<http://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/documentos/observatorio-de-movilidad/>>

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Participación transporte público colectivo por clase de vehículo. [En línea] Disponible en internet: <https://www.simur.gov.co/portal-simur/wp-content/uploads/2019/files/datos-abiertos/infografias/4.Participacion_transporte_publico_colectivo_por_clase_de_vehiculo.jpg>

SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Volúmenes por tipo de vehículo discriminando camiones 19513_AK_72_X_AC_72_180322_VOL (1).xlsx. 2018. [Documento de Excel] Disponible en internet: <<https://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/aforos-vehiculares-y-peatonales/>>

SERRANO, Rodrigo. Los 4 pilares de la Gestión de Transporte Terrestre Wisetrack Corp. [online]. 2018. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <<http://www.wisetrackcorp.com/pilares-de-la-gestion-de-flotas/>>

SITP. Mapas. [En línea]. 2012. [Citado 19 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <https://www.sitp.gov.co/publicaciones/40076/mapas_del_sitp/>

TAKAHASHI, Yoshikazu. FENVES, Gregory L. Software framework for distributed experimental–computational simulation of structural systems. [En línea]. 2006. Disponible en: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.462.3196&rep=rep1&type=pdf>>

VARGAS SANCHEZ, Germán Gonzalo. PARRA, VALENCIA, Jorge Andrick. Dinámica de sistemas aplicada a la industria del software en Colombia. 2016. Revista de Tecnología. 14. 10.18270/rt.v14i2.1875.

VARGAS, W. E., MOZO, E., & HERRERA, E. Análisis de los puntos más críticos de accidentes de tránsito en Bogotá. Universidad Distrital .2012.

ZHAO, Junbo. GÓMEZ-EXPÓSITO, Antonio. NETTO, Marcos. MILI, Lamine. ABUR, Ali. TERZIJA, Vladimir. KAMWA, Innocent. PAL, Bikash. KUMAR SINGH, Abhinav, QI, Junjian. HUANG, Zhenyu. Meliopoulos, P. Sakis. Power System Dynamic State Estimation: Motivations, Definitions, Methodologies and Future Work. N. p., 2019. Web. doi:10.1109/TPWRS.2019.2894769.

ANEXOS

Anexo A. Análisis velocidad promedio

Documento Excel donde se recopila la información sobre velocidades proporcionada por la Secretaría Distrital de Movilidad que se podrá visualizar en el enlace a continuación.

[Anexos\Anexo A..xlsx](#)

Anexo B. Soportes Estudio de tiempos

Documento PDF donde se consignan los soportes de la aplicación Google Maps que se podrá visualizar en el enlace a continuación.

[Anexos\Anexo B..pdf](#)

Anexo C. Estudio de tiempos

Documento Excel donde se recopila la información sobre velocidades proporcionada por la Secretaría Distrital de Movilidad que se podrá visualizar en el enlace a continuación.

Anexo D. Soportes búsqueda rutas SITP

Documento PDF donde se consignan los soportes de la aplicación TransmiSITP que se podrá visualizar en el enlace a continuación.

[Anexos\Anexo D..pdf](#)

Anexo E. Frecuencia de rutas.

Documento PDF donde se consignan los soportes de búsqueda de frecuencias en la página web oficial del sistema, que se podrá visualizar en el enlace a continuación.

[Anexos\Anexo E..pdf](#)

Anexo F. Ecuaciones del modelo

Documento PDF donde se consignan los soportes de las ecuaciones registradas en el modelo Vensim que se podrá visualizar en el enlace a continuación.

[Anexos\Anexo F..pdf](#)

Anexo G. Modelo del sistema

Archivo modelo se podrá visualizar en el enlace a continuación.

[Anexos\Anexo G..mdl](#)

FIRMA ESTUDIANTE
JAIRO ALFONSO VELANDIA MEDINA
5200020

FIRMA ASESOR DEL TRABAJO DE GRADO
OSWALDO GONZALEZ YAZO

FECHA

(08/05/2020)