Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Programa de Ingeniería Civil

Comportamiento de la demanda de transporte público en la pandemia COVID 19 en Colombia

Maycol Andres Ortiz Rivera

Duvan Farley Useche Chia

Bogotá, D.C., diciembre de 2020

Comportamiento de la demanda de transporte público en la pandemia COVID 19 en Colombia

Para optar el énfasis de Ingeniería Civil en Tránsito y Transporte

Mónica Marcela Suarez Pradilla

Director

Bogotá, D.C., diciembre de 2020

Agradecimientos

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, por guiarnos en el camino y fortalecer espiritualmente en el trascurso de la vida.

Así mismo, queremos mostrar nuestra más grande gratitud a todas aquellas personas que estuvieron presentes en la realización de esta meta, que es tan importante para nosotros, agradecer todas sus ayudas, sus palabras motivadoras, sus conocimientos, sus consejos y su dedicación, en especial a nuestras familias, y nuestros padres , Farley Useche Andrade, Roció Chía y José Antonio Ortiz Gómez, Herminia Rivera Arias, quienes fueron el motor de arranque y nuestra constante motivación, muchas gracias por su paciencia, comprensión, y sobre todo por su amor.

Mostramos nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra tutora de proyecto Ing. Mónica Marcela Suarez Pradilla, quien fue pieza clave con su conocimiento, acertada orientación, discusión crítica, guía y soporte, que fueron imprescindibles para cada una de las etapas permitiéndonos un buen aprovechamiento en el trabajo realizado, y que este proyecto de investigación llegará a buen término.

De igual manera Agradecemos especialmente al Ing. Juan Nicolás González Sarmiento, por su colaboración, conocimiento brindado y ante todo su ayuda a lo largo de la realización de este proyecto, brindándonos todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

¡Muchas gracias por todo!

Resumen

La emergencia sanitaria por el coronavirus (COVID-19) en Colombia y en el resto del mundo ha obligado a los sistemas de transporte público a tomar medidas para responder al aislamiento social. Particularmente, en Colombia las ciudades que han implementado sistemas de transporte público como Bogotá, Medellín y Cali ven ampliamente afectados sus inversiones y por tanto su funcionamiento. Desde las secretarias de movilidad de las diferentes ciudades sean generado una serie de directrices encaminadas a controlar la demanda del transporte. Por consiguiente, es necesario evaluar esas medidas y sus efectos en los sistemas de transporte público. El objetivo de este trabajo es aplicar un modelo de previsión de tipo lineal generalizado (GLM) que permita relacionar los decretos expedidos para mitigar el número de contagios con la caída en la demanda del sistema de transporte masivo. El modelo esta calibrado considerando las medidas específicas de ocupación del 35% del transporte masivo, y se utiliza una base de datos cuyas variables representan diferentes restricciones tomadas a lo largo de la cuarentena en el país desde el día 16 de marzo de 2020 hasta el día 5 de septiembre de 2020. Estas restricciones generaron una caída en la demanda del transporte público de aproximadamente el 75% y un descenso en los ingresos de cerca del 65% de acuerdo con los datos obtenidos para la base de datos.

Palabras clave: *Demanda; Modelo Lineal Generalizado; Decretos Regionales; base de datos; Restricciones*

Abstract

The health emergency caused by the coronavirus (covid-19) in Colombia and the rest of the world has forced public transportation systems to take measures to respond to social isolation. Particularly in Colombia, cities that have implemented public transportation systems such as Bogotá, Medellín and Cali have seen their investments and therefore their operation widely affected. The mobility departments of the different cities have generated a series of guidelines aimed at controlling the demand for transport. It is therefore necessary to evaluate these measures and their effects on public transport systems. The aim of this work is to apply a generalized linear model of forecasting (GLM) that allows to relate the decrees issued to mitigate the number of infections with the fall in demand for the mass transport system. The

model is calibrated considering the specific measures of occupation of 35% of mass transport and uses a database whose variables represent different restrictions taken along the quarantine in the country from March 16, 2020 to day September 05, 2020. These restrictions generated a drop in demand for public transport of approximately 75% and a drop in income of about 65% according to the data obtained for the database.

Keywords: *Demand; Generalized Linear Model; Regional Decrees; database; Restrictions*

Índice general

Introducción 11
Objetivos 12
Objetivo general 12
Objetivos específicos 12
Revisión literaria 13
Caso de estudio 19
Metodología. 19
Flujograma 19
Secuencia de actividades a desarrollar. 21
Metodología Transporte Masivo. 21
Metodología de Bogotá, Medellín y Cali. 21
Búsqueda de variables faltantes. 21
Relación de variables. 21
Aplicación de variables seleccionadas. 21
Conclusiones y recomendaciones. 22
Fuente de datos. 23
Descripción de los datos. 27

Metodología de programación. 28

Resultados. 30

Análisis de viajes. 30

Modelos. 32

Ciudad de Bogotá. 32

Ciudad de Medellín. 34

Ciudad de Cali. 36

Conclusiones. 38

Referencias 39

Índice de tablas

Tabla 1 Variables base de datos. Fuente: Elaboración propia 26

Tabla 2 Resultados de modelización para la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia 33

Tabla 3 Resultados de modelización para la ciudad de Medellín. Fuente: Elaboración propia 35

Tabla 4 Resultados de modelización para la ciudad de Cali. Fuente: Elaboración propia 37

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1 Flujograma de trabajo. Fuente: Elaboración propia 20

Ilustración 2 Distribución de los datos Bogotá. Fuente: Elaboración propia. 28

Ilustración 3 Distribución de los datos Medellín. Fuente: Elaboración propia. 29

Ilustración 4 Distribución de los datos Cali. Fuente: Elaboración propia. 29

Ilustración 5 Diagrama de cajas de la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia. 30

Ilustración 6 Diagrama de cajas de la ciudad de Medellín. Fuente: Elaboración propia. 31

Ilustración 7 Diagrama de cajas de la ciudad de Cali. Fuente: Elaboración propia. 31

Índice de ecuaciones.

Ecuación 1 Ecuación explicativa del modelo para la ciudad de Bogotá. 33

Ecuación 2 Ecuación explicativa del modelo para la ciudad de Medellín. 35

Ecuación 2 Ecuación explicativa del modelo para la ciudad de Cali. 37

Introducción

A partir del 6 de marzo de 2020, fecha correspondiente al primer caso de COVID-19 (SARS-COV-2) en Colombia, el ministerio de salud junto con entidades gubernamentales ha implementado medidas de prevención y aislamiento en las diferentes regiones del país, bajo adopción de políticas implementadas en cada municipio. Generando una reducción en el uso del transporte público, que afecto directamente la demanda de este sistema, y representa una disminución de 75% aproximadamente en un conjunto de ciudades de la región después de la implementación de las medidas de aislamiento social," (Blog BID mejorando vidas abril 21 del 2020) y una afectación directa a las empresas prestadoras del servicio quienes han visto descender sus ingresos en aproximadamente un 65%.

En este trabajo, se tiene como objetivo la modelación de la variación de la demanda ante las restricciones a la movilidad, a causa de la pandemia, específicamente, se estima los efectos de la prohibición de viajar que se implementaron en las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali, a mediados del mes de marzo de 2020. Para modelar la variación de la demanda del transporte masivo nacional a causa del brote de COVID-19, utilizamos el modelo lineal generalizado (GLM).

Se utilizó una base de datos que contiene información secundaria tomada de diferentes bases de datos abiertos de las ciudades de estudio. La información que se utilizó tiene información de viajes diarios GOV.CO (actualizada en 2020); el número de contagios activos de COVID-19 en cada región junto con los índices de ocupación y desempleo tomados de la página oficial del DANE, y los decretos publicados de cada ciudad en sus diferentes paginas oficiales, Bogotá.gov.co, Medellin.gov.co y Cali.gov.co. En el modelo lineal generalizado GLM con ayuda del programa R-Studio se busca el mejor modelamiento para cada una de las ciudades donde se explique el comportamiento con respecto a las variables que tengan mayor incidencia en el cambio de la demanda de transporte masivo.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el comportamiento de la demanda de pasajeros de transporte masivo para establecer la incidencia de las medidas sanitarias en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla.

Objetivos específicos

- Establecer una base de datos confiable que permita relacionar la demanda que se presenta en el transporte masivo y los decretos establecidos en cada una de las ciudades.
- Identificar y clasificar las diferentes variables que inciden en la demanda de acuerdo con los decretos locales.
- Definir un modelo tipo lineal generalizado para caracterizar el comportamiento de la demanda considerando las normativas particulares de cada ciudad.

Revisión literaria

De acuerdo con el BID (2020) la necesidad de disponer medidas de aislamiento social ha afectado sustancialmente el uso del transporte público en la región de América Latina y el Caribe. Estadísticas recientes muestran que la caída de la demanda de transporte público ha sido en promedio del 75% en un conjunto de ciudades de la región después de la implementación de las medidas de aislamiento social.

La disminución de la demanda influye directamente a las empresas prestadoras del servicio público quienes han visto descender sus ingresos en aproximadamente un 65%, debido a que una de las medidas implementadas del país es establecer una tasa de ocupación máxima del 35%. Para mitigar esto, es necesario identificar cómo se está comportando la demanda, ya que se va a necesitar la implementación de políticas públicas por parte de los gobiernos nacionales y municipales. Además, desde el punto de vista del gasto del hogar, se traslada el dinero de transporte a otras necesidades básicas, debido a la implementación del teletrabajo y la reducción en el número de viajes. De acuerdo con lo anterior el estudio del comportamiento de la demanda es necesario.

Múltiples estudios muestran el impacto inicial de la pandemia del COVID-19 en la demanda de transporte público. Cabe resaltar que los análisis son prematuros debido a la novedad del tema y su campo de acción incrementa cada vez más. La breve revisión literaria presentada a continuación, se divide en dos secciones. En la primera se recopilan múltiples estudios referentes al comportamiento de la demanda del transporte público, que hace que los diferentes usuarios lo elijan como su alternativa de viaje. Posteriormente, se presentan estudios de cambios en la movilidad debido a la pandemia COVID-19.

(Van Lierop et al., 2018).identifican las causas de satisfacción y lealtad de los usuarios en el transporte público en América del Norte, Europa, Asia y África. La lealtad y la satisfacción del transporte público están relacionada a características propias del mismo. En la revisión literaria se encontró que los factores que afectan más la satisfacción son el tiempo de viaje, la frecuencia, las condiciones de espera, el costo, puntualidad y accesibilidad del transporte, entre otras. En cuanto a la lealtad se reconoció las siguientes características: el comportamiento de los

trabajadores del sector de transporte público, la seguridad, la imagen, la higiene y el costo.

Ulfarsson et al. (2015) exploran los cambios en la frecuencia de viaje y la importancia del tránsito de autobuses en un entorno urbano afectado por la crisis financiera de 2008 en la región de la capital de Reykjavik, Islandia; para ello se llevó a cabo un análisis descriptivos y estadísticas multivariadas apoyado con diferentes modelos como: modelo multinomial logit (MNL), modelo MNL y a su vez un modelo utilizando el rho-cuadrado (para la identificación de variables significativas), junto con un modelo SEM (modelo de ecuaciones estructurales), apoyado con encuestas (1116 encuestas) y estadísticas nacionales y regionales. Considerando que la crisis económica del 2008 atrajo una reducción en la frecuencia de los viajes, se pudieron determinar las variables que presentaron una mayor influencia en la reducción de estos los cuales son: mayor trabajo en el hogar, menos ingresos, ubicación residencial suburbana, desempleo y puntos pesimistas sobre el futro financiero y con relación al aumento de los viajes las variables representativas son: aumento de ingresos, distancia de caminata hasta el supermercado más cercano, tamaño del hogar y nivel de educación.

Efthymiou & Antoniou (2017) investigaron el impacto de la crisis en la satisfacción y la demanda de los usuarios del transporte público y el ferrocarril eléctrico. Para ello se llevaron a cabo encuestas desde 2008 a 2013 en la ciudad de Atenas-Grecia que permitieron modelar el aumento de la demanda de transporte público. Además, el estudio fue contrastado con investigaciones en Gran Bretaña - Reino Unido, Santander-España, Estados Unidos y Alemania, caracterizado por la multiplicidad de fuentes de información como 600 entrevistas personales, análisis de la calidad general del servicio y características específicas del sistema, datos de operadores de transporte público de 265 áreas urbanas y políticas de servicio del transporte público respectivamente. Con ello se puede concluir que las características principales de la demanda del servicio público dependen principalmente de: características demográficas, atributos de los viajes, calidad del servicio y precio de tiquetes.

Chinazzi et al. (2020) proyectan el impacto de las limitaciones de viaje en la propagación en 3200 poblaciones de 200 países y territorios diferentes, centrándose en la ciudad de Wuhan y ciudades cercanas. Para ello se utilizó un modelo global de transmisión de la enfermedad por meta población que permite

relacionar la cantidad de contagios de cada ciudad con las restricciones tomadas. Es importante resaltar que el modelo indica que las restricciones de viaje fueron efectivas. Además, muestra que las limitaciones de viaje (hasta el 90%) presentan pocos resultados para minimizar los contagios a menos que se combinen con intervenciones públicas de salud y de comportamiento de los ciudadanos.

Kraemer et al. (~~Kraemer et al.,~~ 2020) muestran las drásticas medidas de control implementadas en China que ayudaron a mitigar sustancialmente la propagación del COVID-19, en ciudades como Wuhan y 14 ciudades de la provincia de Hubei; teniendo en cuenta los viajes terrestres y aéreos y los datos de casos positivo en las ciudades analizadas, se llevaron a cabo modelos logit generalizados, binomial negativo y regresiones logarítmicas lineales que comparadas con múltiples estadísticos, sirvieron como base principal en el análisis para relacionar las variables anteriormente mencionadas. En definitiva, se encuentra que las restricciones de viajes según los índices de contagio son útiles en etapas donde el brote está en su etapa inicial (limitada a un área específica). Sin embargo, cuando el brote se extiende a otras ciudades, estas restricciones son menos efectivas, no obstante, se aclara que se necesitan más estudios para encontrar el balance entre la salud pública y las restricciones de movilidad.

Tian et al. (~~Tian et al.,~~ 2020) analizaron de forma cuantitativa el papel de las restricciones de transporte y las medidas de control de la transmisión durante los primeros 50 días de la epidemia de COVID-19 en China. Para ello, se evaluó el transporte público y los viajes interurbanos en china durante los primeros 50 días posteriores al primer registro de contagio por COVID-19 en el país, con ayuda de información de número de personas contagiadas y las fechas de registro de las restricciones de movilidad. Como resultado de la investigación, se encontró por medio de un modelo de regresión que los números de contagios habían disminuido con la ayuda de las restricciones de movilidad.

Beck & Hensher (~~Beck & Hensher,~~ 2020) evaluaron el cambio social, económico, político y en el transporte en Australia frente a la aparición de la pandemia COVID-19 que se originó en Wuhan- China. Para ello se llevó una serie de encuestas digitales que buscaban recopilar información económica y el número de viajes del hogar, utilizando los programas Pure profite, GPS Muvis, Google Movilita Reportes y City Pamper. Los resultados obtenidos muestran una disminución porcentual de

las variables anteriormente mencionadas debido al aislamiento preventivo y al aumento del desempleo a causa de la propagación COVID-19.

Oum & Wang (2020) examinaron las diferentes restricciones gubernamentales a causa de la pandemia COVID-19 que dieron repercusión en la parte del transporte aéreo y terrestre en países como estados unidos, Europa, Italia, España, Suecia. Para ello se llevaron a cabo modelos económicos de congestión de tráfico urbano, de confinamiento social y restricciones de viajes en medio de la pandemia, teniendo en cuenta el número de contagios en la población de los países en estudio, recopilando información de medios de comunicación como BBC, el new york times, llevando los datos de personas sintomáticas y asintomáticas, congestión vehicular, restricciones de viajes, a una distribución uniforme y una función de utilidad cuadrática. Como resultado de la investigación se observó una notable similitud en la estructura de los costos externos que causan fallas de mercado entre las opciones socialmente óptimas del caso de la pandemia de COVID-19 y el nivel de congestión del tráfico urbano socialmente óptimo.

Elldér (2020) analizaron las diferentes consecuencias del confinamiento que se presentó principalmente en Suecia y Estados unidos, basándose principalmente en el teletrabajo y los viajes realizados por día. Para ello se llevó a cabo una serie de toma de datos nacionales de viajes en Suecia, tiempo de viaje en población como chicago, entrevistas telefónicas a la población en Suecia, promoción de trabajadores por medio del teletrabajo, que dieron un número suficiente de información con la cual se llevó a cabo una regresión de toilet. Llegando a la conclusión que la influencia del teletrabajo con los viajes diarios de usuarios con vehículo privado está directamente relacionada, al haber una disminución del número de viajes de tipo laboral, pero teniendo un aumento con viajes de otro tipo.

Bucsky (2020) analizan la disminución de la demanda del transporte público en la ciudad de Budapest, teniendo en cuenta la medición del transporte en 2018 con el fin de realizar una comparación con mediciones actuales, que se ven drásticamente afectadas ante las restricciones de confinamiento y de circulación de vehículos, realizadas en la ciudad ante la llegada de la pandemia COVID-19, basándose en datos relevantes como la demanda del transporte masivo y los volúmenes diarios por cada modo. Con lo cual se tiene como resultado del análisis, que la reducción de los viajes no es idéntica para todos los modos de transporte, observando que el

transporte público ha experimentado el mayor descenso con diferencia al transporte privado.

Xiang et al. (2020) tuvieron como objetivo evaluar la contaminación atmosférica relacionada con el tráfico en ciudades del noroeste de estados unidos, obteniendo datos por medio de información de polución, encuestas, y estudios con un sistema WAQA-nanoescan, de parte de entidades como el departamento de transporte del estado de Washington, la agencia de protección ambiental de Estados Unidos, agrupándolos en modelos MAR,WRF,CMAQ, y auto regresivos multivariados de primer orden que sirviera para la organización y análisis de los datos anteriormente mencionados. Como resultado de la evaluación se obtuvo que desde el 17 de febrero hasta el 31 de mayo se notó una reducción notable del tráfico de vehículos en dichas ciudades anteriormente mencionadas y consecuencia a ello las concentraciones de CO2, NO2, PM2 de polución en el ambiente también se vieron en una reducción notable.

Zhang et al. (2020) investigaron la difusión de la pandemia covid-19 a partir del diciembre de 2019, de acuerdo con cada modo de transporte principalmente terrestre y aéreo, teniendo en cuenta que Wuhan se considera centro económico de china. Esta investigación tuvo pie en dos etapas 1 de febrero de 2020 y 15 de febrero de 2020, donde se obtuvieron los datos de contagios en la ciudad de Wuhan y ciudades aledañas relacionándolo con las entradas y salidas de personas de la ciudad, tomando como dato relevante que el mayor número de contagio se presentan en modos de transporte públicos como en trenes y autobuses, en comparación a los casos que se reportaron por medios aéreos en los diferentes aeropuertos. Relacionando los datos anteriores en un modelo de tipo de gravedad con el enfoque de estimación PPML, se obtuvo como resultado que el vínculo de la transmisión de cualquier enfermedad se limita con la distancia que pueda llegar a alcanzar cualquier persona.

Shaaban & Maher (2019) analizan los diferentes tipos de viaje que realiza cada usuario, y así de esta forma ver que tan viable es la utilización del nuevo sistema metro en Qatar planteado en un proyecto para un futuro, con el fin que este pueda reemplazar otros sistemas de transporte público y el uso de transporte privado. Para este análisis se realizaron encuentras con un total de 352 formularios de análisis teniendo en cuenta datos como el tipo de viaje, tiempo de viaje, viajes realizados, y

con esta forma poder llegar a un modelo de teoría del comportamiento planificado (TPB). Teniendo como resultado que los usuarios toman con mayor frecuencia como opción el metro para viajes de ocio, y por otra parte para cambiar el vehículo privado u otro medio de transporte a el transporte público (metro) se deriva de diferentes factores como la comodidad, el costo de los viajes, el tráfico en la ciudad, el tiempo de viaje y frecuencia.

Adler & van Ommeren (2016) muestra los diferentes casos que afectan el uso del transporte público en la ciudad de Rotterdam, teniendo como mayor viabilidad la toma del automóvil privado o la bicicleta, viendo la diferencia de tiempos de viaje y costos, teniendo en cuenta los subsidios de transporte que brinda el sistema de transporte publico de autobuses. Por otra parte, se enfoca en las huelgas las cuales hacen que el tiempo de viaje aumente sustancialmente, viéndose en mayor parte afectado el transporte público.

Caso de estudio

Metodología.

Para llevar a cabo el estudio a realizar, se deben tener en cuenta las siguientes etapas:

- Revisión y retroalimentación de la literatura relacionada con la afectación económica, social y en el transporte, causada por la pandemia COVID-19 en el mundo.
- Búsqueda y recopilación de la demanda de los diferentes sistemas de transporte masivo en Bogotá, Medellín y Cali.
- Búsqueda y recopilación de información que genere diferentes cambios y restricciones en la movilidad y en el diario vivir de las personas en cada una de las ciudades durante la pandemia COVID-19.
- Elegir las variables que generan cambios importantes en la movilidad de personas.
- Elaboración de una base de datos en la cual se organice la información de las variables que afectan la demanda en el transporte en cada una de las ciudades de estudio.
- Definir un modelo que represente de manera óptima los cambios en la demanda en el transporte.

Flujograma

En el siguiente flujograma se representa la secuencia e interacción de las actividades a desarrollar durante el estudio, con el fin de tener una herramienta que nos ayude a visualizar de una mejor manera el funcionamiento de las actividades que se llevaran a cabo, para realizar las mejoras que sean necesarias y aclarar de una mejor manera el propio flujo del estudio, desde la revisión literaria, hasta el análisis de resultados que se obtienen del modelo logit generación llevado a cabo con el programa R, con ayuda de los datos obtenidos para cada ciudad.

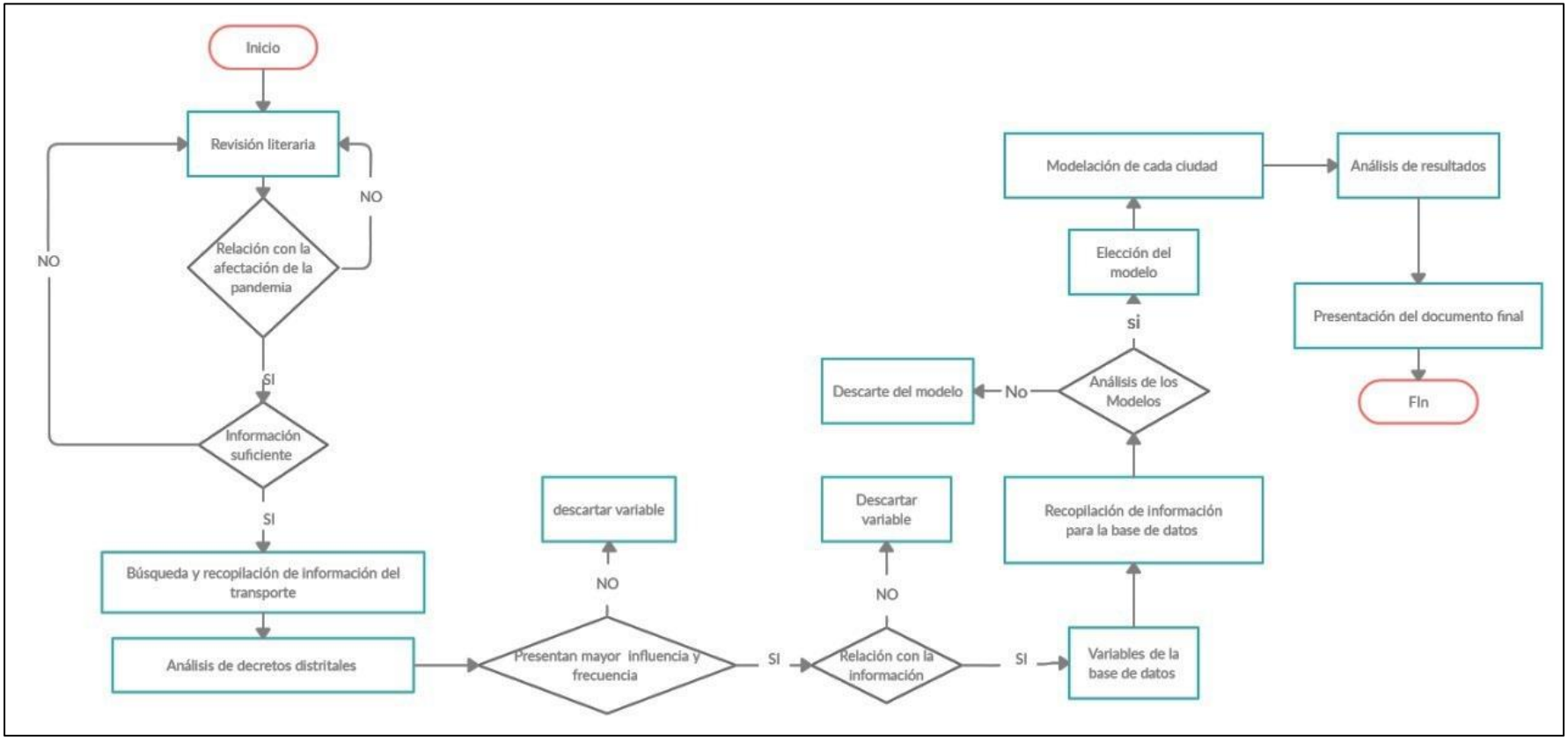

Ilustración 1 Flujograma de trabajo. Fuente: Elaboración propia

Secuencia de actividades a desarrollar.

Metodología Transporte Masivo.

- Búsqueda y obtención de los datos de la demanda en el transporte masivo en cada una de las ciudades de estudio, Bogotá-TRANSMILENIO/SIPT, Medellín-SITVA, Cali-MIO, por medio de la plataforma GOV.CO, hasta el término de las restricciones en Colombia.
- Evaluar la demanda del día dividido en la demanda típica, en cada uno de los medios de transporte masivo en cada una de las ciudades de estudio por medio del programa de modelación estadístico R.

Metodología de Bogotá, Medellín y Cali.

- Obtener cada uno de los decretos emitidos por parte cada una de las administraciones en las páginas señaladas anteriormente.
- Organizarlos de forma ordenada y escalonada en una base de datos las restricciones emitidas en cada uno de los decretos.

Búsqueda de variables faltantes.

- Por medio de la página oficial del ministerio de salud, se obtiene el número de contagios de COVID-19 en cada una de las ciudades, hasta el término de las restricciones en Colombia.
- Registrar por medio de la página oficial de movilidad en Colombia las tarifas del transporte masivo en las ciudades de análisis

Relación de variables.

- Selección de variables representativas extraídas de la base de las restricciones emitidas por la administración de cada ciudad.

Aplicación de variables seleccionadas.

- Hacer un balance de la relación de las variables anteriormente mencionadas con el objetivo de generar los modelos más representativos del análisis apoyándonos por el programa R.
- Teniendo los modelos representativos, seleccionar un modelo que nos permita analizar todas las ciudades de estudio.
- Análisis de resultados

Conclusiones y recomendaciones.

- Presentar las ventajas y desventajas de las variables seleccionadas que se relacionan directamente con la afectación en la demanda.
- Elaboración del informe final para su entrega

Fuente de datos.

- Recopilación de la información de la demanda en los diferentes sistemas de transporte desde el 16 de marzo de 2020 hasta el 5 de septiembre de 2020.
- Recopilar la información de las restricciones en las ciudades de estudio (Bogotá, Medellín y Cali) generadas por medio de decretos distritales y que tengan incidencia directa en la movilidad de sus habitantes.
- Hacer una primera selección de las restricciones distritales de cada ciudad, con la finalidad de determinar cuáles son las más frecuentes y de mayor incidencia a la movilidad.
- Hacer una segunda selección de las restricciones anteriormente mencionadas, con la finalidad de determinar la relación con la información obtenida por medio de las diferentes páginas oficiales de las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali.
- Recopilación y almacenamiento de datos correspondiente a las variables de análisis.

Variable	Tipo de variable	Descripción	Fuente
Fecha	Fecha	Fecha del día en estudio	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
Ciudad	General	Ciudad de estudio	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
Sistema	General	Sistema de transporte masivo de la ciudad de estudio	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
Pasajeros día	General	Demanda de pasajeros en el día de estudio	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
variación Transmilenio	General		https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
Pasajero día típico	General	Demanda de pasajeros en un día típico laboral	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data

Pasajero sábado	General	Demanda de pasajeros en un sábado	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
Pasajero día festivo	General	Demanda de pasajeros en un día festivo	https://www.datos.gov.co/Transporte/Informaci-n-Pasajeros-Transporte-Masivo/2h8t-2zik/data
Dia semana	General	Dia de la semana perteneciente a la fecha del día de estudio: "1=Lunes", "2=Martes", “3=Miércoles”, "4=Jueves", "5=Viernes", "6=Sábado", "7=Domingo"	Fuente propia – Calendario 2020
Pico y Cedula	General	Restricción de movilidad de las personas para realizar trámites durante la pandemia: "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	Bogota:https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-juridica/normas-expedidas-por-el-distrito-por-el-coronavirus-en-bogota Medellin:https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://ad0112085c36a7718f46d9dba43bbe60 Cali:https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin_publico/
Pico y Generó	General	Restricción de movilidad de las personas para realizar trámites durante la pandemia: "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	Bogota:https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-juridica/normas-expedidas-por-el-distrito-por-el-coronavirus-en-bogota Medellin:https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://ad0112085c36a7718f46d9dba43bbe60 Cali:https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin_publico/
Infectados	General	Cantidad de personas contagiadas en el día de estudio	https://sig.sispro.gov.co/SituacionCovid/
Muertes	General	Cantidad de personas muertas en el día de estudio	https://sig.sispro.gov.co/SituacionCovid/

Restricción zonal	General	Restricción por zonas de movilidad de personas con respecto a la población total de la ciudad en estudio	Bogota:https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-juridica/normas-expedidas-por-el-distrito-por-el-coronavirus-en-bogota Medellin:https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://ad0112085c36a7718f46d9dba43bbe60 Cali:https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin_publico/
Restricción hora	General	Número de horas restringidas en el día de estudio con respecto a las horas del día “24 horas”	Bogota:https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-juridica/normas-expedidas-por-el-distrito-por-el-coronavirus-en-bogota Medellin:https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://ad0112085c36a7718f46d9dba43bbe60 Cali:https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin_publico/
Pico y placa ambiental	General	Restricción del pico y placa ambiental "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	https://www.pyphoy.com/
Pico y placa publico	General	Restricción del pico y placa publico "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	https://www.pyphoy.com/
Pico y placa taxi	General	Restricción del pico y placa ambiental "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	https://www.pyphoy.com/

Pico y placa transporte especial	General	Restricción del pico y placa transporte especial "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	https://www.pyphoy.com/
Pico y placa particular	General	Restricción del pico y placa particular "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	https://www.pyphoy.com/
Dia festivo	General	Se define si el día en estudio es un día festivo "0=si no presenta restricción", "1= si presenta restricción"	Fuente propia – Calendario 2020
Tarifa	General	Precio del sistema masivo de transporte para la ciudad en estudio	Diferentes medios de comunicación como: https://www.eltiempo.com/ https://www.caracoltv.com/ https://www.canalrcn.com/
Oferta	General	Capacidad de carga del sistema de transporte masivo durante el tiempo de pandemia para cada una de las ciudades en estudio	Bogota:https://bogota.gov.co/mi-ciudad/gestion-juridica/normas-expedidas-por-el-distrito-por-el-coronavirus-en-bogota Medellin:https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://ad0112085c36a7718f46d9dba43bbe60 Cali:https://www.cali.gov.co/aplicaciones/boletin_publico/

Tabla 1 Variables base de datos. Fuente: Elaboración propia

Descripción de los datos.

Para el análisis de la variación de la demanda de pasajeros en los sistemas de transporte masivo en las principales ciudades de Colombia, en donde se identificaron las variables cuya tendencia podían incidir de mayor manera ante la crisis sanitaria que se está afrontando en el mundo, en especial nuestro país, en donde se tomaron diferentes fuentes de información y Así mismo se recolectaron datos acerca de las ciudades representativas, con el objetivo de abarcar las características que nos permitieran entender mejor el comportamiento del país ante la llegada del COVID-19, en consecuencia de lo anterior, se determinó el análisis para 3 ciudades, Bogotá, Medellín y Cali.

En lo que respecta al análisis de las variables, se tuvieron como fuentes de información los decretos publicados por cada administración, esto permitió identificar las restricciones a la movilidad de los habitantes en cada una de las ciudades analizadas, particularmente, se identificaron restricciones como: pico y cedula, pico y género y pico y placa para los diferentes tipos de vehículos que circulan en cada ciudad, estas restricciones se toman como variables categóricas. En relación con la cantidad de viajes en cada sistema de transporte la información recolectada es sobre las cantidades de pasajeros por día, sistema de transporte, variación en el sistema de transporte, pasajeros día típico, pasajeros correspondientes al sábado y pasajeros correspondientes a días festivos. Información que nos permitió entender mejor el comportamiento de la cantidad de viajes para cada ciudad.

De igual modo se tomaron como variables las restricciones zonales y horarias dentro de cada ciudad, tomando como relación la población en confinamiento y la población total y la cantidad de horas de toque de queda y las 24 horas del día respectivamente, además de las consideraciones en la capacidad de carga de los sistemas de transporte y su tarifa, cada una de ellas tomadas de las paginas oficiales gov.co.

Por otro lado, no solo se analizó las restricciones a los pasajeros sino la cantidad de personas que no pueden viajar dadas las condiciones de contagio o muerte provocadas por la afectación del COVID-19, estos datos fueron tomados de la página oficial del ministerio de salud en Colombia (minsalud.gov.co) cuyos datos fueron publicados todos los días desde el primer registro de contagio en el país.

Metodología de programación.

Para la evaluación de la variación de la demanda de pasajeros de los sistemas de transporte masivo se realizó un análisis estadístico de los datos antes mencionados, a partir de allí se optó por un modelo lineal generalizado (GLM). Cuya variable dependiente para modelar es el número de pasajeros por día, identificada por la variable pas_dia.

Por otra parte, se encontró que la distribución de la respuesta de la variable dependiente que mejor se ajusta a los resultados es una distribución Gamma, por lo tanto, se genera un modelo lineal generalizado con función de enlace Gamma para las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali, dada la forma que presentan las gráficas, como se muestra en las siguientes ilustraciones, donde se puede evidenciar la tendencia explicada anteriormente.

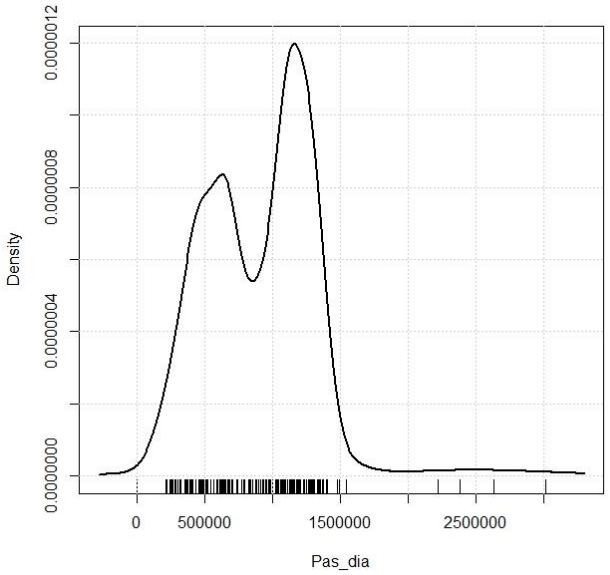

Ilustración 2 Distribución de los datos Bogotá. Fuente: Elaboración propia.

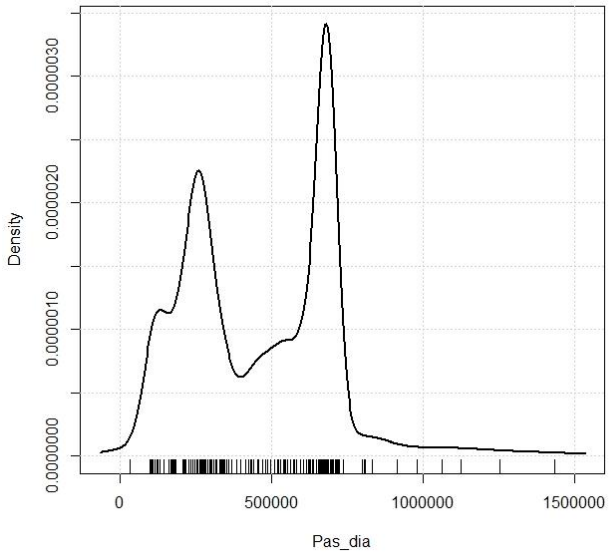

Ilustración 3 Distribución de los datos Medellín. Fuente: Elaboración propia.

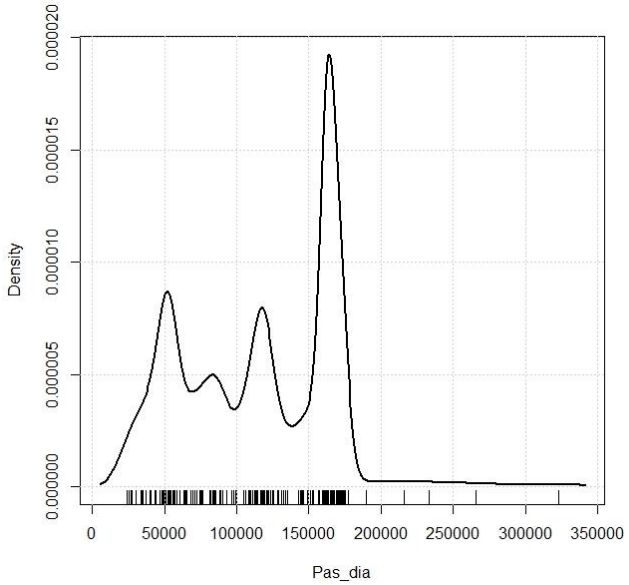

Ilustración 4 Distribución de los datos Cali. Fuente: Elaboración propia.

Resultados.

En este apartado se presentan los principales resultados de análisis separados en dos secciones, que se obtuvieron en las tres ciudades de estudio, Bogotá, Medellín y Cali. En la primera sección se presentará el análisis de los viajes realizados durante el periodo de restricción en cada ciudad, mientras que en la segunda sección se presentaran los resultados del modelo diseñado para cada ciudad, incluyendo las variables que presentaron mayor incidencia y sus interacciones.

Análisis de viajes.

El comportamiento de los viajes realizados por cada día de la semana se desarrolló por medio de un diagrama de cajas, el cual nos mostró una distribución de viajes centrados en los días martes, miércoles, jueves y viernes, teniendo un mayor número de pasajeros, con respecto a los días sábado, domingo y lunes, como se muestra en las ilustraciones 5, 6 y 7. Esto demuestra que las restricciones generadas en cada ciudad se orientaron principalmente en la disminución de viajes ante actividades no esenciales, debido a los cierres de puntos estratégicos de atracción de viajes como centros comerciales, gimnasios, discotecas y bares.

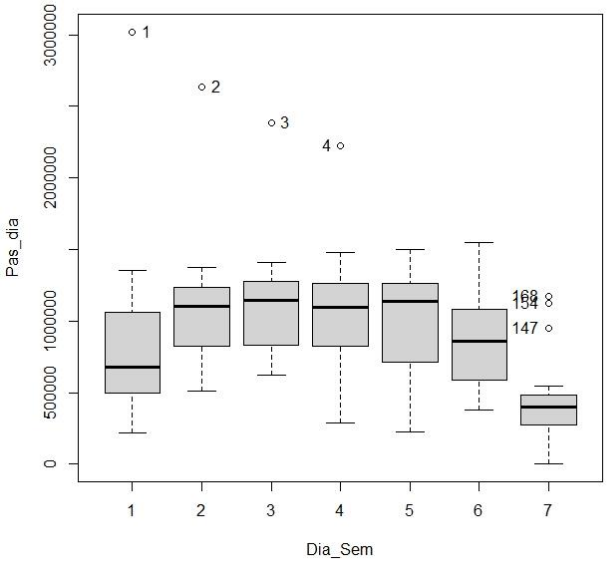

Ilustración 5 Diagrama de cajas de la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia.

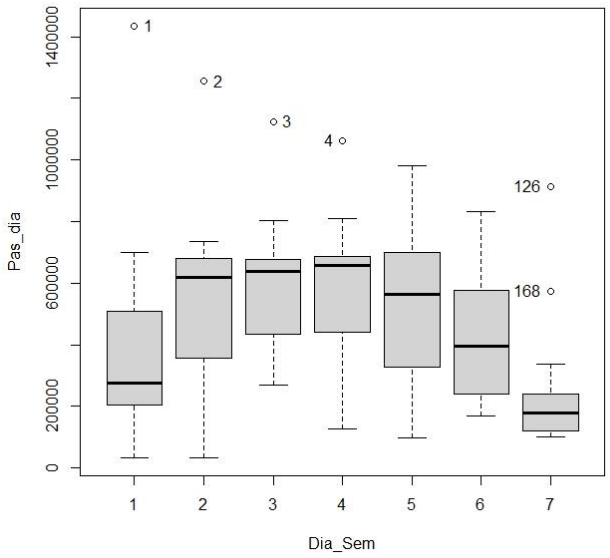

Ilustración 6 Diagrama de cajas de la ciudad de Medellín. Fuente: Elaboración propia.

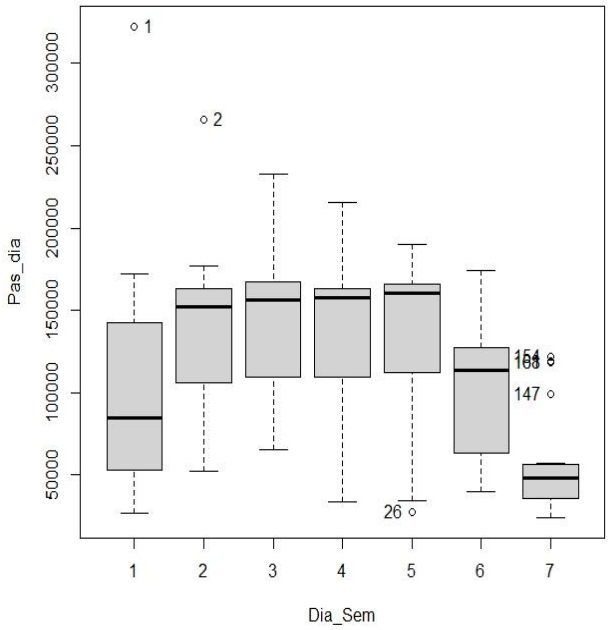

Ilustración 7 Diagrama de cajas de la ciudad de Cali. Fuente: Elaboración propia.

Modelos.

Ciudad de Bogotá.

Los resultados del modelo lineal generalizado GLM que explican el número de pasajeros por día en la ciudad de Bogotá en el transporte masivo TRANSMILENIO S.A. se muestran en la tabla 2, en donde se registran los valores de los coeficientes y los estadísticos arrojados por el programa RStudio. Dicho lo anterior se muestra que las demás variables explicativas son de carácter estadísticamente significativas y por lo cual se acepta el valor de la prueba p, así mismo el modelo confirma la significancia con un nivel de confianza de 99% para las variables Dia_sem, Rest_Hora, pico_cedu, infectados, Rest_zona, pico_part_0 y pico part_1 y un nivel de confianza del 95% para la interacción entra las variables Dia_sem y Rest_Hora.

La variable Dia_sem que representa los días de la semana, al ser una variable categórica se tomó como parámetro de análisis para la ciudad de Bogotá el día lunes identificado con el número 1, se observa que estas variables para los demás días son variables positivas y significativas, lo que representa un aumento en los viajes con respecto al lunes. Además, la variable que controla la restricción zonal es negativa y estadísticamente significativa, esto significa que para los días donde se presentó está restricción disminuyeron los viajes, lo que tiene sentido debido a que las personas no podían estar movilizándose en ciertos sectores de la ciudad, así mismo para la interacción entre las variables Dia_sem y Rest_hora,al ser negativa y estadísticamente significativa, se evidencia que para los demás días con respecto al día lunes donde se presentaba una restricción horaria en la ciudad se disminuyeron en gran medida los pasajeros en el sistema.

Otro rasgo del análisis es la participación de las variables identificadas como Pico_part_0 y Pico_part_1 que representan las restricciones a los vehículos particulares cuya placa esté terminada en par e impar respectivamente. Al ser variables con estadístico positivo y estadísticamente significativas, muestran que para los días en donde estas restricciones estaban presentes los viajes en el sistema de transporte publico TRANSMILENIO aumentaron en un 243% para los días cuya restricción era para los vehículos cuyas placas terminaban en par y 143% para los días cuya restricción era para vehículos cuyas placas terminaban en impar.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	e ESTIMADO	%
(Intercept)	12,5132668	0,26739254	46,7973667	2,43E-93	271920,9762377	271919,98
Dia_Sem[T.2]	0,9657693	0,32402325	2,9805556	3,34E-03	2,6268077	163%
Dia_Sem[T.3]	1,1736396	0,32241119	3,6401949	3,71E-04	3,2337407	223%
Dia_Sem[T.4]	1,2263070	0,32416212	3,7830053	2,21E-04	3,4086184	241%
Dia_Sem[T.5]	1,5349470	0,33104853	4,6366225	7,47E-06	4,6410797	364%
Dia_Sem[T.6]	1,2825637	0,32378751	3,9611278	1,13E-04	3,6058723	261%
Dia_Sem[T.7]	1,5404729	0,41531436	3,7091733	2,89E-04	4,6667968	367%
Rest_Hora	0,7268574	0,27674439	2,6264576	9,49E-03	2,0685697	107%
pico_cedu	0,2421364	0,08919818	2,7145896	7,39E-03	1,2739680	27%
Infectados	0,0001191	0,00002698	4,4159435	1,88E-05	1,0001191	0%
Rest_zona	-0,5167349	0,16439886	-3,1431781	2,00E-03	0,5964649	-40%
Pico_part_1	0,8860437	0,22889302	3,8709948	1,59E-04	2,4255145	143%
Pico_part_0	1,2316508	0,22463856	5,4828112	1,66E-07	3,4268821	243%
Dia_Sem[T.2]:Rest_Hora	-0,6998960	0,36554369	-1,9146712	5,74E-02	2,6985935	170%
Dia_Sem[T.3]:Rest_Hora	-0,9602943	0,36201799	-2,6526149	8,82E-03	2,5605003	156%
Dia_Sem[T.4]:Rest_Hora	-0,9450059	0,36419287	-2,5947952	1,04E-02	2,7405498	174%
Dia_Sem[T.5]:Rest_Hora	-1,3672366	0,37050004	-3,6902468	3,10E-04	2,4462784	145%
Dia_Sem[T.6]:Rest_Hora	-1,3276441	0,36407744	-3,6465982	3,62E-04	1,9773884	98%
Dia_Sem[T.7]:Rest_Hora	-2,3519140	0,45972903	-5,1158701	9,11E-07	0,9188947	-8%

Tabla 2 Resultados de modelización para la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia

Lo anterior muestra que los días laborales tiene un gran peso en el modelo, ellos representan representa el mayor volumen de viajes, especialmente en los martes, miércoles, jueves y viernes en comparación con los días sábado, domingo y nuestro día base de estudio (lunes).

De acuerdo con el análisis anterior la ecuación que define el comportamiento de la demanda para la ciudad de Bogotá es:

$$Ln(Pas_dia) = Dia_sem * Rest_Hora + pico_cedu + Infectados + Rest_Hora + Rest_zona + Pico_part_1 + Pico_part_0$$

Ecuación 1 Ecuación explicativa del modelo para la ciudad de Bogotá.

Ciudad de Medellín.

Los resultados del modelo lineal generalizado GLM que explican el número de pasajeros por día en la ciudad de Medellín en el transporte masivo SITVA S.A. se muestran en la tabla 3, en donde se registran los valores de los coeficientes y los estadísticos arrojados por el programa RStudio. Dicho lo anterior se muestra que las demás variables explicativas son de carácter estadísticamente significativas y por lo cual se acepta el valor de la prueba p, así mismo el modelo confirma la significancia con un nivel de confianza de 99% para las variables Dia_sem, Rest_Hora, infectados, Rest_zona, pico part_1.

La variable Dia_sem al ser una variable categórica, se toma como parámetro de referencia un día de la semana, en dicho caso el día domingo identificado como Dia_Sem[T.7], en donde se observa que las variables representadas, están identificadas como Dia_Sem[T.1], Dia_Sem[T.2] Dia_Sem[T.3] Dia_Sem[T.4] Dia_Sem[T.5] Dia_Sem[T.6] (Lunes, Martes, Miércoles, Jueves, Viernes, Sábado), observando que son de carácter significativas y positivas para el modelo, donde se identifica que se tiene una mayor incidencia en los días martes a jueves, con un porcentaje de aumento desde 139% hasta un 156% en la demanda respecto al día domingo, siendo congruente con el diagrama de cajas mostrado anteriormente en la ilustración 6.

Estos porcentajes de incidencia se presentan debido que al ser días centrales de la semana laboral se realiza actividad económica activa, donde la afluencia de pasajeros es mayor, en relación con el fin de semana donde se reduce la cantidad de viajes debido a que no se presenta actividad económica laboral en gran magnitud, y los viajes de actividades no esenciales son bajos debido al cierre de establecimientos para dicho fin. De igual forma se denota que la variable Pico_Part_0 que se refiere a la restricción de movilidad presentado para vehículos que presentan placa par, se obtiene con estadístico positivo y estadísticamente significativas, donde se observa un aumento en la demanda de pasajeros de 149% en el transporte masivo SITVA en la ciudad.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	e ESTIMADO	%
(Intercept)	12,14057	0,10577	114,783	7,87E-158	187319,4559084	18731845,59%
Dia_Sem[T.1]	0,49513	0,14183	3,491	6,20E-04	1,6407065	64,07%
Dia_Sem[T.2]	0,94068	0,14137	6,654	4,13E-10	2,5617257	156,17%
Dia_Sem[T.3]	0,99911	0,14136	7,068	4,36E-11	2,7158575	171,59%
Dia_Sem[T.4]	0,92923	0,14205	6,542	7,50E-10	2,5325590	153,26%
Dia_Sem[T.5]	0,87481	0,14021	6,239	3,65E-09	2,3984218	139,84%
Dia_Sem[T.6]	0,62138	0,14061	4,419	1,80E-05	1,8614915	86,15%
Rest_Hora	1,48905	0,62566	2,380	1,85E-02	4,4328664	343,29%
Infectados	0,00032	0,00009	3,447	7,21E-04	1,0003230	0,03%
Pico_part_0	0,91604	0,28755	3,186	1,73E-03	2,4993644	149,94%

Tabla 3 Resultados de modelización para la ciudad de Medellín. Fuente: Elaboración propia

De lo anterior podemos resaltar que los días laborales entre semana tiene una gran incidencia en el modelo, y presentan un mayor número de viajes para los días martes, miércoles, jueves y viernes en comparación para los días lunes, sábado y nuestro día base de estudio (domingo).

La ecuación que define el modelo de la ciudad de Medellín está dada por:

$$Ln(Pas_dia) = Dia_Sem + Rest_Hora + Infectados + Pico_part_0$$

Ecuación 2 Ecuación explicativa del modelo para la ciudad de Medellín.

Ciudad de Cali.

Los resultados del modelo lineal generalizado GLM que explican el número de pasajeros por día en la ciudad de Cali en el transporte masivo MIO S.A. se muestran en la tabla 4, en donde se registran los valores de los coeficientes y los estadísticos arrojados por el programa RStudio. Con respecto a las variables usadas en este estudio evidenciamos se observa que las variables explicativas son de carácter estadísticamente significativas y por lo cual se acepta el valor de la prueba p, así mismo el modelo confirma la significancia con un nivel de confianza de 99% para las variables Muertes, log(infectados) y Dia_sem, que representan las personas muertas como consecuencia de la afectación del COVID-19, el logaritmo de las personas contagiadas de COVID-19 y los día de la semana respectivamente y un nivel de confianza de 90% para la interacción entre los días de la semana y las muertes día a día.

La variable Dia_sem al ser una variable categórica, se tomó como parámetro de análisis el día domingo identificado con el número 7, en donde se observa que las variables representadas como Dia_Sem[T.1], Dia_Sem[T.2] Dia_Sem[T.3] Dia_Sem[T.4] Dia_Sem[T.5] Dia_Sem[T.6] (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes y sábado, respectivamente) son de carácter positivas y significativas para el modelo, lo que indica que los viajes generados para el día Domingo representa los menores viajes en la semana, siendo superado hasta en un 255% (porcentaje correspondiente al día martes), al igual que como se muestra por medio del grafica de cajas. Por otra parte, encontramos que los viajes de los días a la semana con respecto al domingo dadas las muertes generadas por afectaciones generadas por el COVID-19, disminuyen hasta en un 252% (porcentaje correspondiente al martes).

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	e ESTADISTICO	%
(Intercept)	9,80253	0,18143	54,030	8,76E-104	18079,48914906	1807849%
Dia_Sem[T.1]	1,12329	0,16689	6,731	2,95E-10	3,07496196	207%
Dia_Sem[T.2]	1,26661	0,16612	7,625	2,14E-12	3,54878651	255%
Dia_Sem[T.3]	1,23541	0,17064	7,240	1,85E-11	3,43978189	244%
Dia_Sem[T.4]	1,18271	0,16465	7,183	2,53E-11	3,26321813	226%
Dia_Sem[T.5]	1,08385	0,16671	6,502	9,92E-10	2,95602929	196%
Dia_Sem[T.6]	0,77408	0,16982	4,558	1,03E-05	2,16860025	117%
Muertes	0,03010	0,01243	2,422	1,66E-02	1,03055954	3%
log(Infectados)	0,16530	0,03781	4,372	2,23E-05	1,17975213	18%
Dia_Sem[T.1]:Muertes	-0,05631	0,01471	-3,828	1,86E-04	2,99542411	200%
Dia_Sem[T.2]:Muertes	-0,03697	0,01488	-2,484	1,40E-02	3,52450356	252%
Dia_Sem[T.3]:Muertes	-0,03233	0,01579	-2,047	4,23E-02	3,43213050	243%
Dia_Sem[T.4]:Muertes	-0,02953	0,01504	-1,963	5,14E-02	3,26507028	227%
Dia_Sem[T.5]:Muertes	-0,02211	0,01540	-1,436	1,53E-01	2,97974629	198%
Dia_Sem[T.6]:Muertes	-0,01757	0,01507	-1,166	2,45E-01	2,19594926	120%

Tabla 4 Resultados de modelización para la ciudad de Cali. Fuente: Elaboración propia

Todas estas observaciones anteriores evidencian la importancia en el modelo los viajes generados por cada día de la semana, en donde su relación se expresa mejor por medio de la interacción con la cantidad de muertes generadas por el COVID-19.

Se concluye que la ecuación que rige el modelo de la ciudad de Cali está dada por:

$$Ln(Pas_dia) = Dia_Sem + Muertes + \log(Infectados) + Dia_Sem * Muertes$$

Ecuación 3 Ecuación explicativa del modelo para la ciudad de Cali.

Conclusiones.

Se encontró que las principales variables que permitían expresar la variación de la demanda en el transporte masivo de las diferentes ciudades se expresan mediante la cantidad de infectados, muertos, y restricciones como pico y cedula, pico y placa para los vehículos particulares, restricciones horarias y zonales, estando presentes en los modelos y presentando significancia para las ciudades de Bogotá, Medellín y Cali, sin embargo, para las variables como restricción por pico y género, tarifa, oferta y pico y placas para vehículos de transporte público, taxis, vehículos especiales como camperos y pico y placa ambiental no incidieron en la variación del número de pasajeros.

Así mismo al tener un levantamiento de las restricciones de pico y placa particular, en las ciudades en estudio durante las alertas naranja y roja, se observa que esta restricción solo tiene incidencia hasta la segunda semana del mes de abril, con respecto a la demanda de transporte masivo.

Referencias

Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, *15*(2), 73–80. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005

Bañón, L., & Bevía, J. F. (2000). Manual de carreteras Volumen 1 Elementos y proyecto. In S. A. Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras (Ed.), *Repositorio.Ua.Ua.Es/Dspace/*. Retrieved from http://www.tsc.gob.hn/biblioteca/index.php/manuales/646-manual-de-carreteras

De Grange, L., & Troncoso, R. (2011). Impacts of vehicle restrictions on urban transport flows: The case of Santiago, Chile. *Transport Policy*, *18*(6), 862–869. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.06.001

Frey, H., Unal, A., Rouphail, N., & D Colyar, J. (2003). On-Road Measurement of Vehicle Tailpipe Emissions Using a Portable Instrument. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, *53*, 992–1002. https://doi.org/10.1080/10473289.2003.10466245

Gakenheimer, R. (1999). Urban mobility in the developing world. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *33*(7–8), 671–689. https://doi.org/10.1016/S0965-8564(99)00005-1

Gärling, T., Eek, D., Loukopoulos, P., Fujii, S., Johansson-Setnman, O., Kitamura, R., … Vilhelmson, B. (2002). A conceptual analysis of the Impact of Travel Demand Management on Private Car Use. *Transportation Policy*, *9*, 59–70.

Ministerio de Transporte. (2004). *Manual de Señalización Vial. Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia*. Bogotá.

Ramos, R., Cantillo, V., Arellana, J., & Sarmiento, I. (2017). From restricting the use

of cars by license plate numbers to congestion charging: Analysis for Medellin, Colombia. *Transport Policy*, *60*(September), 119–130. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.012

Santos, G., Behrendt, H., Maconi, L., Shirvani, T., & Teytelboym, A. (2010). Part I: Externalities and economic policies in road transport. *Research in Transportation Economics*, *28*(1), 2–45. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2009.11.002

Smit, R., Smokers, R., & Rabé, E. (2007). A new modelling approach for road traffic emissions: VERSIT+. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *12*(6), 414–422. https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.05.001

US Environmental Protection Agency (US EPA). (2003). User 's Guide to Mobile Source Emission Factor Model. *Environmental Protection*.

Verhoef, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (1995). The economics of regulatory parking policies: The (IM)possibilities of parking policies in traffic regulation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *29*(2), 141–156. https://doi.org/10.1016/0965-8564(94)E0014-Z

Wang, L., Xu, J., & Qin, P. (2014). Will a driving restriction policy reduce car trips?-The case study of Beijing, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *67*, 279–290. https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.07.014

(Banister, 2008; De Grange & Troncoso, 2011; Frey, Unal, Rouphail, & D Colyar, 2003; Gakenheimer, 1999; Gärling et al., 2002; Ramos, Cantillo, Arellana, & Sarmiento, 2017; Santos, Behrendt, Maconi, Shirvani, & Teytelboym, 2010; Smit, Smokers, & Rabé, 2007; US Environmental Protection Agency (US EPA), 2003; Verhoef, Nijkamp, & Rietveld, 1995; Wang, Xu, & Qin, 2014)